ŒUVRES PHILOSOPHIQUES ET SCIENTIFIQUES D'AL-KINDĪ

I

L'OPTIQUE ET LA CATOPTRIQUE

ISLAMIC PHILOSOPHY THEOLOGY AND SCIENCE

Texts and Studies

EDITED BY

H. DAIBER and D. PINGREE

VOLUME XXIX

ŒUVRES PHILOSOPHIQUES ET SCIENTIFIQUES D'AL-KINDĪ

EDITÉES PAR

JEAN JOLIVET ET ROSHDI RASHED



ŒUVRES PHILOSOPHIQUES ET SCIENTIFIQUES D'AL-KINDĪ

VOLUME I

L'OPTIQUE ET LA CATOPTRIQUE

PAR

ROSHDI RASHED



E.J. BRILL
LEIDEN · NEW YORK · KÖLN
1997

The paper in this book meets the guidelines for permanence and durability of the Committee on Production Guidelines for Book Longevity of the Council on Library Resources.

ISSN 0169-8729
ISBN 90 04 09781 3 (Vol 1)
ISBN 90 04 10797 5 (Set)

© Copyright 1997 by E.J. Brill, Leiden, The Netherlands

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, translated, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior written permission from the publisher.

Authorization to photocopy items for internal or personal use is granted by E.J. Brill provided that the appropriate fees are paid directly to The Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Suite 910 Danvers MA 01923, USA. Fees are subject to change.

PRINTED IN THE NETHERLANDS

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE XI

AVERTISSEMENT XIV

INTRODUCTION 1

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I : AL-KINDĪ ET LES TRADITIONS TEXTUELLES DE L'*OPTIQUE* D'EUCLIDE 5

Introduction 5

1.1 Al-Kindī et les versions grecques et arabes de l'*Optique* d'Euclide 6

1.2 L'indépendance des versions de l'*Optique* 34

1.3 La version de l'*Optique* consultée par al-Kindī et la traduction arabe conservée 41

1.4 Al-Kindī et le prologue à l'*Optique* attribué à Théon d'Alexandrie 45

1.5 La *Rectification* : texte, attribution et postérité 52
1.5.1 Le critique anonyme de la *Rectification* 54
1.5.2 Aḥmad ibn 'Īsā' compilateur de la *Rectification* et d'autres écrits d'al-Kindī 57

CHAPITRE II : AL-KINDĪ ET LA TRADITION EUCLIDIENNE EN OPTIQUE 67

Introduction 67

2.1 Rayon et cône visuels : la conception d'Euclide et la critique d'al-Kindī 68

2.2 Lumière et vision : l'infléchissement physique de l'optique euclidienne 75

2.3 La vision et le réaménagement de la doctrine euclidienne 85

CHAPITRE III: MIROIRS ARDENTS, CATOPTRIQUE ET LES NOUVELLES RECHERCHES : L'HÉRITAGE HELLÉNISTIQUE D'ANTHÉMIUS DE TRALLES 97

3.1 Les rayons solaires 97
3.1.1 Introduction 97
3.1.2 La construction des miroirs ardents 98
3.1.2.1 Miroir conique 99
3.1.2.2 Miroir sphérique concave 102
3.1.2.3 Un système de miroirs hexagonaux 111
3.1.2.4 Miroir pyramidal ou conique 112
3.1.2.5 Miroir parabolique 114
3.1.3 Le traité d'al-Kindī dans l'histoire des miroirs ardents . 115
3.1.3.1 Miroir sphérique concave : Dioclès, Dtrūms, le fragment de Bobbio, Anthémius et al-Kindī 117
3.1.3.2 Miroir sphérique concave : al-Kindī et Ibn al-Haytham 121

3.2 L'explication par la réflexion de la perception de l'objet immergé dans l'eau : Un fragment du traité d'al-Kindī sur les grandeurs immergées dans l'eau 125

3.3 Sur les traces de deux traités d'al-Kindī 128
3.3.1 Introduction 128
3.3.1.1 Le fragment d'al-Kindī et la compilation d'Ibn ʿĪsā : miroir dièdre et miroir sphérique concave 130
3.3.1.2 Un emprunt d'Ibn ʿĪsā au traité d'al-Kindī : le miroir ardent conique 134
3.3.2 La diversité des perspectives dans les miroirs : al-Kindī et Qusṭā ibn Lūqā 139
3.3.2.1 Miroir sphérique concave et miroir plan 140
3.3.2.2 Miroir convexe et miroir plan 143
3.3.2.3 Miroir sphérique concave et miroir cylindrique concave 146

SECONDE PARTIE
TEXTE ET TRADUCTION

Introduction 153

1. *La rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique 153
2. *Sur les rayons solaires* 154
3. *Les grandeurs immergées dans l'eau* 158

4. *Le miroir sphérique concave dont l'arc est un tiers de son cercle* 160

1. TEXTE ET TRADUCTION 161
*Épître de Abū Yūsuf Ya'qūb ibn Isḥāq al-Kindī sur la rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique 162

Kitāb Abī Yūsuf Ya'qūb ibn Isḥāq al-Kindī ilā ba'ḍ ikhwānihi fī taqwīm khaṭa' wa al-mushkilāt allatī li-Uqlīdis fī kitābihi al-mawsūm bi-al-Manāẓir 163

NOTES COMPLÉMENTAIRES 337

2. TEXTE ET TRADUCTION 359
Livre de Ya'qūb ibn Isḥāq al-Kindī sur les rayons solaires ... 360

Kitāb Ya'qūb ibn Isḥāq al-Kindī fī al-shu'ā'āt al-shamsiyya .. 361

NOTES COMPLÉMENTAIRES 421

3. TEXTE ET TRADUCTION 423
Fragment sur les grandeurs des figures immergées dans l'eau 424

Fiqra fī 'aẓām al-ashkāl al-ghā'iṣa fī al-mā 425

4. TEXTE ET TRADUCTION 429
Fragment sur un miroir concave dont l'arc est le tiers de son cercle 430

Fiqra fī al-mir'ā al-muqa''ara allatī qawsuhā thulth dā'iratihā. 431

5. TEXTE ET TRADUCTION 437
Livre de Jacob Alkindi sur les causes des diversités de la perspective et sur les démonstrations géométriques qu'il faut en donner 438

Liber Jacob Alkindi de causis diversitatum aspectus et dandis demonstrationibus geometricis super eas 439
Traduction de J. Jolivet, H. Sinaceur et H. Hugonnard-Roche
Révision de R. Rashed

NOTE SUR L'ÉDITION 525
La tradition manuscrite du *De aspectibus* 526
Liste des manuscrits 526
Classement des manuscrits 529
Apparat critique 532
La traduction latine 533

APPENDICES

APPENDICE I : *DE L'OPTIQUE* : UN ANCIEN TÉMOIGNAGE SUR LA *RECTIFICATION* 535

TEXTE ET TRADUCTION 537
De l'Optique 538

Min al-Manāẓir 539

APPENDICE II : LA CATOPTRIQUE DE QUSṬĀ IBN LŪQÀ 541

Introduction 541

1. Miroir sphérique convexe 545
2. Miroir sphérique concave 553
3. Texte et traduction 567

TEXTE ET TRADUCTION 571
Livre sur les causes de la diversité des perspectives qui se produit dans les miroirs, composé par Qusṭā ibn Lūqā le Grec, pour al-Nāṣir li-Dīn Allāh, Abū Aḥmad al-Muwaffaq bi-Allāh.. 572

Kitāb fī ʿilal mā yaʿriḍu fī al-marāyā min ikhtilāf al-manāẓir allafahu li-al-Nāṣir li-Dīn Allāh, Abū Aḥmad al-Muwaffaq bi-Allāh Qusṭā ibn Lūqā al-Yūnānī 573

APPENDICE III : IBN ʿĪSÀ : MIROIRS ARDENTS ET CATOPTRIQUE .. 647

TEXTE ET TRADUCTION
Fragment du Livre de l'optique et des miroirs ardents composé par Aḥmad ibn ʿĪsā d'après la doctrine d'Euclide sur les causes de la vision 648

Fiqra min Kitāb al-manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa min ta'līf Aḥmad ibn 'Īsā 'alā madhhab Uqlīdis fī 'ilal al-baṣar ... 649

GLOSSAIRE ARABE-FRANÇAIS 703

GLOSSAIRE LATIN-FRANÇAIS DES TERMES TECHNIQUES 759

INDEX
Index des noms propres 761
Index des concepts 763
Index des citations 769

BIBLIOGRAPHIE 771

PRÉFACE

Abū Yūsuf Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī n'est pas seulement "le premier philosophe des Arabes", comme on a coutume de le qualifier ; c'est aussi l'un des premiers savants encyclopédiques. Astronome, mathématicien, alchimiste, géologue ..., il est aussi l'auteur d'une œuvre importante en optique, la plus substantielle depuis l'antiquité tardive. L'œuvre optique d'al-Kindī offre un double visage : dans le sillage des travaux des géomètres hellènes, sur plusieurs points, à sa manière, elle engage de nouveaux départs. Sous ce jour, al-Kindī exprime aussi son époque : né à Kūfa, en Irak, au tournant du VIIIe siècle, c'est à Bagdad qu'il a reçu sa formation et accompli sa carrière scientifique, et qu'il est mort vers 866[1]. Or c'est précisément à cette époque que se déployait à Bagdad ce mouvement massif de traduction de l'héritage hellénistique, et qu'émergeaient les premières recherches scientifiques. Sur les deux fronts, al-Kindī était présent : avec son équipe, il a pris part à cette double tâche. Aussi son œuvre optique est-elle capitale, tant pour éclairer d'un jour nouveau ses prédécesseurs grecs, que pour saisir les traits de son époque et retracer l'histoire de l'optique en arabe.

L'importance de la contribution d'al-Kindī en optique n'est d'ailleurs pas à souligner. Depuis bien longtemps, les historiens s'en sont chargés, en raison de l'existence d'une version latine de son livre généralement connue sous le titre *De aspectibus*, la version de Gérard de Crémone. Le nom d'al-Kindī a donc été évoqué, aussi bien pour l'impact de ce livre sur les auteurs latins, que pour sa destinée en arabe : parler de l'optique d'al-Kindī, c'était parler du *De aspectibus*. La perte de l'original arabe ne pouvait que confirmer cette tendance.

Certes, depuis deux décennies, on n'ignorait plus qu'il existait un autre livre d'al-Kindī, sur les miroirs ardents. Mais celui-ci nous est parvenu dans un piètre état, tronqué, mal copié, entouré d'une légende, et jamais il n'a pu être sérieusement consulté.

Telle était la situation jusqu'à ce que ma bonne fortune m'ait fait découvrir un commentaire substantiel de l'*Optique* d'Euclide, précisément rédigé après le *De aspectibus*, ainsi qu'un opuscule *Sur les grandeurs immergées dans l'eau*, et un fragment sur le miroir concave. Si l'on joint à ces titres le livre sur les miroirs ardents, l'œuvre optique d'al-Kindī a non seulement triplé de volume, mais elle a aussi changé d'extension et de nature. Les rapports d'al-Kindī avec l'*Optique* d'Euclide se sont autrement affinés, ses liens avec l'œuvre d'Anthémius de Tralles peuvent à présent être rigoureusement décrits, et la connaissance qu'il avait d'anciens problèmes comme celui des grandeurs immergées dans l'eau ou

[1] Voir J. Jolivet et R. Rashed, "Al-Kindī", *Dictionary of Scientific Biography* (New York, 1978), vol. XV, Suppl. I, p. 261-267.

la réflexion sur les miroirs sphériques concaves et convexes, dévoile d'autres connexions avec l'ancienne optique. Grâce à tous ces textes, le regard historique sur l'œuvre d'al-Kindī qui jusqu'ici était flou et partiel est désormais possible. Ses rapports avec les anciens se précisent, la connaissance que nous avons de ceux-ci s'enrichit, et nous mesurons la complexité des textes antérieurs au IXe siècle pour les savants de cette époque.

Œuvre optique charnière, elle demeure cependant incomplète : il nous manque trois titres au moins, dont une catoptrique. La seule voie qui s'offre à nous pour remédier à ces manques est un retour au IXe siècle ainsi qu'aux successeurs d'al-Kindī : il nous permettra d'inscrire ces contributions aujourd'hui perdues dans la tradition textuelle, mais aussi conceptuelle, qui est la leur et donne leur sens. La tâche est rude, et ne peut s'accomplir d'un coup. À côté des savants grecs dont les travaux sur les miroirs ardents, rendus en arabe, pouvaient être connus d'al-Kindī, et qui sont objet d'une autre étude[2], un nom s'impose : celui de Qusṭā ibn Lūqā, dont les rapports avec al-Kindī sont connus. La *Catoptrique* de Qusṭā ibn Lūqā qui nous est parvenue est d'une lecture si difficile qu'elle semble avoir découragé les historiens de lui consacrer une quelconque étude. C'est donc tout naturellement qu'elle trouvait sa place dans ce livre, qui la rend disponible. La comparaison établie entre ce texte d'Ibn Lūqā et la contribution d'al-Kindī, permet de dégager et, au moins, d'entrevoir, les contours de la catoptrique de ce dernier. Le second nom, celui d'Aḥmad ibn ʿĪsā, n'est pas celui d'un contemporain d'al-Kindī, comme Ibn Lūqā. Quelque peu malmené par certains historiens qui ont vu en lui un prédécesseur d'al-Kindī, Aḥmad ibn ʿĪsā est en fait, nous l'établirons plus loin, son successeur, et même le *compilateur* des différents écrits du savant de Bagdad. C'est à ce titre que son livre contient des fragments de plusieurs œuvres perdues, ou récemment retrouvées, d'al-Kindī. On comprendra sans peine combien cet ouvrage d'Aḥmad ibn ʿĪsā est précieux lorsqu'il s'agit de repérer les traces des écrits perdus d'al-Kindī : nous donnons donc ici le chapitre qui nous a guidé dans cette recherche des traces.

Aussi convenait-il de donner l'édition *princeps* de tous les textes arabes, ainsi qu'une première traduction. Je me suis acquitté de cette tâche, et je soumets aux lecteurs ces textes et leur analyse.

Le *De aspectibus* était déjà bien établi, et traduit en allemand[3]. Il m'a semblé nécessaire de rafraîchir cette savante édition, et d'en donner une traduction française, de sorte que les lecteurs français puissent disposer dans un seul livre de toute la contribution d'al-Kindī. Ce travail est le

---

[2] Voir *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al.*, à paraître aux Belles Lettres et le texte de Dioclès à paraître dans *MIDEO*, 23 (1997).

[3] *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euklid. Drei optische Werke.* Herausgegeben und erklärt von Axel A. Björnbo und Seb. Vogl, Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Heft XXVI, 3 (Leipzig-Berlin, 1912).

fruit d'une entreprise collective : Henri Hugonnard-Roche a rénové l'édition du *De aspectibus* grâce à un nouveau manuscrit. Nous avons, Henri Hugonnard-Roche et moi-même, révisé la traduction française du texte faite par Hourya Sinaceur et Jean Jolivet, sur l'édition Björnbo.

Le manuscrit de ce livre a été préparé à la reproduction photographique par Aline Auger, ingénieur d'études au CNRS. Elle s'est acquittée avec compétence et dévouement de ce travail difficile ; qu'elle soit ici remerciée. Ma gratitude va également au Dr. S.M. Marashī, Président de la Bibliothèque d'Ayāt Allāh al-ʿUẓmā al-Marʿashī al-Najafī, ainsi qu'au Dr. A.R. Bedar, Directeur de la Bibliothèque Khuda-Bakhsh, qui m'ont permis de travailler dans leurs institutions.

J'espère enfin que les nouveaux documents présentés ici m'obtiendront le pardon pour le retard d'un livre, promis voilà déjà une vingtaine d'années, dans l'article "al-Kindī" du *D.S.B* ; comme l'a dit Shaykh al-Maʿarra:

تَقفُونَ، والفَلَكُ المُسَخَّرُ دَائِرٌ وتُقَدِّرُونَ، فَتَضْحَكُ الأَقْدَارُ

Roshdi Rashed, Bourg-la-Reine, août 1996

AVERTISSEMENT

Afin de ne pas reproduire deux fois la même figure, nous renvoyons le plus souvent, dans les chapitres introductifs et dans les commentaires, aux figures des textes établis.

Nous avons ajouté quelques figures dans les textes, pour faciliter la compréhension. Ces ajouts ont été à chaque fois signalés.

Les manuscrits sont désignés par des lettres. Cette notation est expliquée dans la bibliographie.

< > Ces crochets isolent dans le texte arabe ce qui est ajouté pour combler une lacune du manuscrit. Dans la traduction française, ils sont maintenus seulement pour les titres; ils sont introduits pour isoler un ajout au texte arabe, nécessaire à l'intelligence du texte français.

[ ] Ces crochets sont utilisés seulement dans le texte arabe pour indiquer que le mot ou le passage ainsi isolés doivent être supprimés pour la cohérence du texte.

/ Ce signe indique la fin du folio d'un manuscrit.

INTRODUCTION

Les travaux d'al-Kindī en optique s'étendent à tous les domaines de l'optique hellénistique : l'optique au sens des anciens géomètres – Euclide notamment –, la catoptrique, les miroirs ardents, les couleurs ... ; autant dire que le philosophe n'a voulu laisser aucun secteur de l'ancienne optique sans y apporter sa contribution. Et de fait les recherches d'al-Kindī en optique sont nombreuses, et revêtent des formes diverses : on recense des études extensives, aussi bien que des commentaires optiques ou des solutions de problèmes particuliers. Mais cette diversité dans la présentation ne doit pas dissimuler l'unité de l'intention délibérément proclamée par al-Kindī, et sur laquelle nous reviendrons plus loin : il s'agit de reprendre l'ancienne optique, à la fois pour l'expliquer et pour la rectifier. Autant que nous le sachions, ces recherches d'al-Kindī sont au moins au nombre de neuf, dont huit ont été mentionnées par les anciens biobibliographes[1]. De ces huit titres, cinq nous sont parvenus, auxquels il convient d'ajouter le titre d'un livre relativement volumineux, mais qui n'a pas été évoqué. Parcourons brièvement ces titres, avant de les examiner en détail, chacun en son lieu.

1. *Sur la diversité des perspectives* (*Fī ikhtilāf al-manāẓir*), comme le rapportent al-Nadīm, al-Qiftī et Ibn Abī Uṣaybiʿa[2]. Ce livre est cité par al-Kindī lui-même, qui le désigne sous le titre abrégé : les *Perspectives* (*al-Manāẓir*), dans son *Grand art*[3], ainsi que dans la *Rectification*[4]. Perdu en arabe, il est conservé en latin, dans la traduction de Gérard de Crémone, sous le titre *Liber de causis diversitatum aspectus*, communément appelé *De aspectibus*[5]. Il s'agit d'une étude extensive, destinée, semble-t-il, à se substituer à l'*Optique* d'Euclide.

2. *Sur la diversité des perspectives dans le miroir* (*Fī ikhtilāf manāẓir al-mir'ā*), rapporté par les trois anciens biobibliographes[6]. Ce traité

---

[1] Al-Nadīm, *Kitāb al-fihrist*, éd. R. Tajaddud (Téhéran, 1971), p. 315-320 ; al-Qiftī, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, éd. J. Lippert (Leipzig, 1903), p. 366-378 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *'Uyūn al-anbā' fī ṭabaqāt al-aṭibbā'*, éd. N. Riḍā (Beyrouth, 1965), p. 285-293.

[2] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 317 ; al-Qiftī, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, p. 371 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *'Uyūn al-anbā'*, p. 290.

[3] Al-Kindī, *Fī al-ṣināʿa al-'uẓmā*, éd. ʿAzmī Ṭaha al-Sayyid Aḥmad (Cyprus, 1987), p. 120.

[4] Voir *infra*, p. 161-335.

[5] Voir *infra*, p. 438-523.

[6] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 317 ; al-Qiftī, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, p. 371 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *'Uyūn al-anbā'*, p. 290.

perdu, mais dont nous avons pu identifier les traces dans une compilation plus tardive[7], est le premier en catoptrique.

3. *Sur la construction des miroirs ardents* (*Fī ʿamal al-marāyā al-muḥriqa*), rapporté également par les trois anciens biobibliographes[8], mais avec une légère variante chez Ibn Abī Uṣaybiʿa : "Sur les miroirs qui embrasent" (*Fī al-marāyā allatī tuḥriq*). De ce traité, également perdu, nous avons pu identifier les traces dans une compilation tardive[9]. Il semble être dans la tradition d'Anthémius de Tralles.

4. *Sur les corps immergés dans l'eau* (*Fī al-ajrām al-ghāʾiṣa fī al-māʾ*). Ce titre, rapporté par al-Nadīm et al-Qifṭī, est reproduit par Ibn Abī Uṣaybiʿa, avec *al-ajsām* au lieu d'*al-ajrām*, c'est-à-dire un terme synonyme[10]. Ce texte, que nous avons retrouvé, a été attribué à tort à un auteur plus tardif.

5. *Sur les gabarits du miroir* (*Fī masāṭir al-mirʾā*). Tel qu'il figure sur la liste d'al-Nadīm, ce titre n'est pas identique à celui que rapporte al-Qifṭī, où ne figure pas le mot "gabarits"[11]. Si toutefois il a existé, ce livre ne nous est pas parvenu.

6. *Sur les rayons solaires* (*Fī al-shuʿāʿāt al-shamsiyya*). C'est un important traité sur les miroirs ardents. Le titre est identique à celui que citent al-Nadīm et Ibn Abī Uṣaybiʿa[12]. Mais al-Nadīm l'évoque sur une liste qui comporte bon nombre de livres d'astronomie, d'astrologie, de météorologie ... On y trouve par exemple *Sur la projection des rayons* (*Fī maṭraḥ al-shuʿāʿ*), ou *Des aspects*, qui est un livre d'astrologie et non d'optique. *Sur les rayons solaires* nous est parvenu un peu mutilé[13].

7. *Sur la rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique (*Fī taqwīm al-khaṭaʾ wa al-mushkilāt allatī li-Uqlīdis fī kitābihi al-mawsūm bi-al-manāẓir*). Aucun biobibliographe ne cite ce livre, que nous avons découvert récemment.

À cela viennent s'ajouter deux titres portant sur les couleurs :

---

[7] Il s'agit de la compilation d'Ibn ʿĪsā, voir Appendice III.

[8] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 320 ; al-Qifṭī, *Taʾrīkh al-ḥukamāʾ*, p. 376 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *ʿUyūn al-anbāʾ*, p. 290.

[9] Il s'agit toujours de la compilation d'Ibn ʿĪsā, voir Appendice III.

[10] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 320 ; al-Qifṭī, *Taʾrīkh al-ḥukamāʾ*, p. 375-376 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *ʿUyūn al-anbāʾ*, p. 292-293.

[11] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 320 ; al-Qifṭī, *Taʾrīkh al-ḥukamāʾ*, p. 376.

[12] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 317 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *ʿUyūn al-anbāʾ*, p. 290.

[13] Voir *infra*, Seconde partie, p. 154-157.

8. *Sur le corps qui porte par sa nature la couleur parmi les quatre éléments, et qui est la cause de la couleur dans les autres* (*Fī al-jirm al-ḥāmil bi-ṭabā'ihi al-lawn min al-'anāṣir al-arba'a wa alladhī huwa 'illa al-lawn fī ghayrihi*).

9. *Sur la cause de la couleur azur que l'on voit dans l'atmosphère du côté du ciel et dont on croit que c'est la couleur du ciel* (*Fī 'illa al-lawn al-lāzūrī*).

Sur les neuf titres attribués à al-Kindī, six nous sont parvenus, dont quatre portent sur l'optique des géomètres. Pour deux des titres introuvables, des indications précises nous renseignent pour la première fois sur l'extension de la recherche d'al-Kindī sur la catoptrique et les miroirs. Il en ressort qu'au milieu du IXe siècle al-Kindī connaissait aussi bien la tradition euclidienne en optique que celle des miroirs ardents, telle que la présentent les travaux d'Anthémius de Tralles. Nous verrons par ailleurs qu'al-Kindī connaissait très probablement une version du livre du Pseudo-Euclide sur les *Miroirs*, ainsi qu'un écrit de Théon d'Alexandrie. Nous allons examiner, dans l'ordre, la connaissance qu'al-Kindī pouvait avoir de ces traditions, ainsi que ce qu'il a pu apporter à chacune d'elles.

CHAPITRE I

AL-KINDĪ ET LES TRADITIONS TEXTUELLES DE L'*OPTIQUE* D'EUCLIDE

Introduction

La *Rectification de l'erreur et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique, ou, plus brièvement, la *Rectification*, n'est pas seulement le titre d'une composition substantielle en optique, mais aussi celui du résumé d'un programme de recherche. Ce qu'al-Kindī entend par ce titre est une lecture critique de la totalité de l'*Optique* d'Euclide. Et de fait, dans la *Rectification*, al-Kindī reprend systématiquement, et dans l'ordre, les propositions de l'*Optique* dans le but d'en améliorer la démonstration, d'en résoudre les difficultés et d'en corriger les erreurs. Il s'agit donc d'un commentaire critique de l'*Optique* ; le premier commentaire connu du livre d'Euclide est ainsi destiné par son auteur à dépasser l'œuvre commentée. En effet, "commenter" ne se réduit pas à reprendre pour comprendre : il s'agit aussi de reprendre pour rectifier. Mais, avant toute analyse de la tâche que s'est fixée al-Kindī, soulignons qu'un tel livre constitue un témoignage textuel et conceptuel de premier ordre sur l'histoire de l'ouvrage d'Euclide et sur celle de la discipline. Plus que tout autre livre, y compris les autres ouvrages d'al-Kindī, la *Rectification* nous renseigne sur l'état du texte d'Euclide au IXe siècle : d'abord sur la version arabe de celui-ci, et ensuite – tout au moins indirectement – sur la version grecque que celle-ci a pu rendre. Nous allons montrer précisément que la version arabe lue et commentée par al-Kindī n'est pas celle qui nous est parvenue dans la tradition manuscrite arabe, ni l'une de celles que la tradition manuscrite grecque a conservées. Al-Kindī nous permettra donc d'établir que l'*Optique* d'Euclide n'a pas été l'objet, comme on le croit encore, d'une unique traduction arabe, mais de deux au moins, et ceci à partir de deux traditions manuscrites grecques différentes. Nous serons ainsi amenés à affirmer rigoureusement qu'avant le IXe siècle, il y avait au moins quatre traditions manuscrites de l'*Optique* d'Euclide, et non point deux comme on persiste à le soutenir. Ce sont ces questions qui nous retiendront d'abord, ainsi que celles qui leur sont associées, telles que l'attribution de la *Rectification* et sa postérité.

La *Rectification*, mais aussi le *De aspectibus*, le commentaire critique de l'*Optique* ainsi que la nouvelle rédaction de l'optique réalisés par al-Kindī, soulèvent la question de l'apport conceptuel des rédactions optiques d'al-Kindī, et notamment de la manière dont il pouvait entendre les notions fondamentales de l'optique des géomètres : rayon et cône visuels

par exemple. L'apport conceptuel d'al-Kindī, et les questions qu'il soulève, importants pour l'histoire de l'optique médiévale, sont également autant de clés pour mieux pénétrer les intentions des prédécesseurs d'al-Kindī, et, en premier lieu, d'Euclide. Cet apport, en nous offrant l'instrument pour mesurer l'écart qui sépare al-Kindī de son prédécesseur, éclaire du coup les intentions de l'un comme de l'autre, ainsi que les limites de leurs contributions. C'est sur de telles questions que nous nous arrêterons ensuite.

Enfin, rédigée selon toute vraisemblance après le *De aspectibus*, la *Rectification* permet d'en mieux saisir quelques points restés obscurs et de retracer le progrès de la pensée optique d'al-Kindī pour engager sa reconstitution.

1.1. *Al-Kindī et les versions grecques et arabes de l'*Optique *d'Euclide*

Dans la *Rectification*, al-Kindī examine les définitions d'Euclide, avant de reprendre toutes les propositions de l'*Optique* l'une après l'autre, et dans l'ordre. On a ainsi, avec le livre catoptrique de Qusṭā ibn Lūqā[1], les deux témoignages les plus anciens en arabe sur le livre du mathématicien alexandrin. Mais laquelle des versions de ce livre al-Kindī a-t-il commentée ? Depuis les travaux fondateurs de Heiberg[2], on savait l'histoire de l'*Optique* d'Euclide complexe. La tradition grecque[3] est en effet à la fois tardive (le plus vieux manuscrit de l'*Optica genuina*, le *Vind. phil. gr.* 103, date du XIIe siècle) et confuse : si l'*Optica genuina* – que nous notons ici G_1 – est en effet attribuée à Euclide par la tradition manuscrite, ce qui, pour Heiberg, est la "recension de Théon", que nous notons ici G_2, et dont le plus ancien manuscrit, le *Vat. gr.* 204, remonte aux environs de l'an mil, est transmise sans nom d'auteur dans les manuscrits conservés. La seule référence explicite à la paternité de l'Alexandrin figure dans un titre de la main d'Ange Vergèce copiant à Paris en 1566, pour le chancelier Michel de l'Hospital, le *Paris. gr.* 2468* : τὸ προοίμιον ἐκ τῆς τοῦ Θέωνός ἐστιν ἐξηγήσεως, "le préambule provient du commentaire de Théon" (Heiberg, *Prolegomena*, p. XXX).

Ces constatations ont conduit un certain nombre de chercheurs à remettre en cause les conclusions de Heiberg, et en particulier son

---

[1] Sur ce livre *Kitāb fī 'ilal mā ya'riḍu fī al-marāya min ikhtilāf al-manāẓir*, ms. Āstān Quds 5593, fol. 78^{r}-93^{r}, voir Appendice II, p. 572-645.

[2] *Euclidis Opera Omnia* (Leipzig, 1945), vol. VII: *Euclidis optica, opticorum recensio Theonis, catoptrica, cum scholiis antiquis*, éd. J.L. Heiberg ; J.L. Heiberg, *Literargeschichtliche Studien über Euclid* (Leipzig, 1882), chap. IV.

[3] Voir Heiberg, *Prolegomena*, p. XIII-XVI et *Literargeschichtliche Studien über Euclid*, notamment p. 90-91.

* Cf. M. Vogel et V. Gardthausen, *Die griechischen Schreiber des Mittelalters und der Renaissance* (Leipzig, 1909 ; repr. Hildesheim, 1966), p. 3.

attribution conjecturale du texte transmis par le *Vat. gr.* 204 à Théon[4]. Ces critiques, qui ont le grand mérite d'attirer une nouvelle fois l'attention sur un problème qu'on considérait sans doute un peu rapidement comme réglé, soulignent à juste titre la fragilité d'une attribution ne reposant sur aucune mention explicite de Théon avant le XVIe siècle. Un pas supplémentaire a cependant été franchi avec l'attribution de la recension "de Théon" à Euclide lui-même, attribution conduisant à voir dans l'*Optica genuina* un développement plus tardif de l'œuvre authentique. Notons toutefois que l'on ne trouve pas davantage d'attribution à Euclide qu'à Théon dans cette recension. Les trois passages cités par Heiberg ne peuvent en aucun cas être considérés comme des attributions. Les trois scholies mentionnées dans l'apparat critique de Heiberg ne sauraient établir une véritable attribution. On ne peut, de fait, accorder grande valeur à la seule portant sans l'ombre d'un doute sur le texte lui-même (et non sur le prologue "de Théon"), présente seulement dans le *Vat. gr.* 191 (XIIIe-XIVe siècle selon Heiberg)* ; elle consiste en effet en une note marginale, d'une main plus récente que celle du copiste principal du manuscrit, qui se borne à remarquer, au moment où G_2 présente les définitions *euclidiennes* : *ἐντεῦθεν οἱ ὅροι τῶν Εὐκλείδου ὀπτικῶν*, "ici sont les définitions de l'*Optique* d'Euclide" – ce qui reste incontestable même si Théon (ou un autre) est l'auteur de la "recension".

La deuxième mention "externe" d'Euclide, si elle se retrouve dans les trois manuscrits (y compris donc le *Vat. gr.* 204, du Xe siècle), ne se rapporte en revanche pas le moins du monde à G_2 : purement descriptive (τὰ πρὸ τῶν Εὐκλείδου ὀπτικῶν, "ce qu'il y a avant l'*Optique* d'Euclide"), elle semble avoir été placée en cet endroit pour tenir lieu de titre au prologue attribué par Vergèce à Théon. On affirmera tout au plus que dans le cas, probable mais non certain, où le prologue aurait toujours précédé G_2 dans la tradition manuscrite, l'auteur de ce titre voyait en ces pages un texte de l'*Optique* d'Euclide. En d'autres termes,

---

[4] Voir A. Jones, "Peripatetic and Euclidean Theories of the Visual Ray", *Physis*, vol. XXXI, fasc. 1 (1994), p. 47-76, en particulier p. 49 n. 6 et W.R. Knorr, "Pseudo-Euclidean Reflections in Ancient Optics: A Re-Examination of Textual Issues Pertaining to the Euclidean *Optica* and *Catoptrica*", *Physis*, vol. XXXI, fasc. 1 (1994), p. 1-45, notamment p. 28 sqq.

* Plus précisément, le manuscrit est fait de trois parties distinctes dues à au moins seize copistes et contenant des œuvres de mathématique, d'astronomie, d'astrologie, de géographie et de musique. Il semble bien que les trois parties du manuscrit ont été réunies en un, par un seul et même correcteur qui le fit exécuter par des amis, des élèves ou des secrétaires, entre 1296 et 1298, et que des notes ont été ajoutées jusqu'au 1er septembre 1303. Cf. P. Canart et V. Peri, *Sussidi bibliografici per i manoscritti greci della Biblioteca Vaticana*, Studi e Testi, 261 (Roma, 1970), p. 387-388 ; A. Turyn, *Codices graeci Vaticani saeculis XIII et XIV scripti annorumque notis instructi* (Roma, 1964), p. 91-93 ; A. Allard, "La tradition du texte grec des *Arithmétiques* de Diophante d'Alexandrie," *Revue d'histoire des textes*, 12-13 (1982-1983), p. 57-137, aux p. 69-70.

cette brève mention – dont il faudrait se garder de surcharger l'interprétation – soulève davantage la question du rapport des différentes versions entre elles qu'elle ne contribue à la résoudre.

La troisième mention est fort douteuse. Elle ne se lit que dans le *Paris. gr.* 2390, manuscrit relativement tardif (XIIIe siècle selon Heiberg) : τὰ πρὸ ὀπτικῶν Εὐκλείδου φίλε τέλος εἴληφε θεῷ [θεῷ *om.* Heiberg] εὐδοκοῦντος, ᾧ δόξα. Tout en paraissant porter sur le seul prologue (τὰ πρὸ ὀπτικῶν Εὐκλείδου), elle se trouve reléguée après la totalité du texte de G_2, pour clore l'ensemble du livre. Prise rigoureusement, elle signifierait donc que le texte G_2 dans son ensemble devrait être compris comme une introduction à l'*Optique* d'Euclide (G_1 ?). Si d'un autre côté cette dernière "scholie" est déplacée et qu'elle faisait à l'origine directement suite au prologue anonyme, elle tombe alors sous la même critique que celle que nous adressions à la précédente – tout en étant, remarquons-le encore une fois, textuellement moins bien attestée[5].

Il serait donc fort téméraire de vouloir faire dire à ces trois mentions externes de l'*Optique* plus que ce qu'elles veulent bien nous révéler – très peu de choses à la vérité – sans recourir à une pétition de principe des plus flagrantes.

Le problème demande cependant à être reconsidéré à la lumière de la tradition arabe. Il va de soi que l'on ne saurait, dans l'état actuel des connaissances et en l'absence d'une édition critique de la version arabe conservée de l'*Optique* d'Euclide, apporter de réponse globale et définitive à toutes les questions posées. Nous allons donc montrer qu'il n'y a aucune version priviligiée de l'*Optique* d'Euclide, que G_1 et G_2 sont bien indépendantes, que G_2 est bien une recension, non pas de G_1, mais très vraisemblablement d'un archétype dont seules les traductions arabes ont gardé quelque trace et, enfin, que le rédacteur de G_2 nous est inconnu.

On peut cependant d'ores et déjà remarquer qu'on connaissait, au IXe siècle, au moins deux versions arabes de l'*Optique*. La première est constituée par le texte d'Euclide, conservé en plusieurs manuscrits : celui-ci s'écarte souvent du texte proposé par les deux versions grecques, et dans des passages aussi fondamentaux que les définitions liminaires. Cette même version arabe a été utilisée par Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī et par Ibn Abī Jarrāda (XIIIe) dans leurs rédactions de l'*Optique*. La seconde version

[5] Le *Paris. gr.* 2390 demanderait de toute évidence une étude attentive, et que l'on déterminât avec précision sa situation stemmatique exacte. Son copiste a en effet toujours pris le soin, aussi bien pour le texte euclidien que pour ce qui le précède, de noter le titre du traité ainsi qu'un *explicit*, dans une encre mauve très caractéristique. C'est aussi avec cette encre qu'il numérote les différentes propositions. Il est donc clair qu'il ne s'agit pas là de l'inspiration intempestive de quelque érudit byzantin, mais bien du travail rigoureux d'un copiste attentif. Comme en outre ce copiste n'adopte pas la moindre séparation entre le "prologue" et G_2, il est indiscutable que sa source voyait dans l'*ensemble* (prologue+G_2) "ce qu'il y a avant l'*Optique* d'Euclide", τὰ πρὸ ὀπτικῶν Εὐκλείδου. Étant donné la présence de Théon dans le manuscrit, il appartiendra donc à la recherche future de déterminer si ce dernier ne reflète pas, même lointainement, la scolastique alexandrine.

arabe, dont on n'avait jusqu'ici jamais soupçonné l'existence, est au moins aussi ancienne que la première, puisque c'est celle qu'a utilisée al-Kindī. Elle est proche de la traduction arabe connue, mais ne lui est cependant pas identique ; il arrive même en certains endroits qu'al-Kindī rejoigne le texte conservé par la version grecque G_1. Mieux encore, quand la version G_1 du texte grec attribuée par Heiberg à Euclide et la version G_2 du même texte, attribuée, par Heiberg également, à Théon, divergent, la version arabe, tout en étant incontestablement plus proche de G_1, rejoint cependant G_2 dans certains cas (cf. plus loin la discussion de la proposition 6). S'il fallait voir avec les contradicteurs de Heiberg, dans la version G_1 un développement de la version G_2[6] et non pas en celle-ci une recension de celle-là, on serait forcé de conclure d'une part que cette amplification aurait eu lieu avant l'époque des traductions arabes et, d'autre part, qu'il aurait existé au moins deux états de texte intermédiaires – celui auquel remonte al-Kindī et celui de la traduction arabe conservée. Cette hypothèse devient, *ipso facto*, quasiment intenable : nous sommes en effet en présence de quatre traditions indépendantes, c'est-à-dire opposables deux à deux – ce qui nous assure qu'aucune n'a conservé seule *la* version correcte du texte d'Euclide. Si en effet la version G_1 était une simple réélaboration de la version G_2, comment expliquer que les deux versions arabes concordent tantôt avec l'une et tantôt avec l'autre ? comment expliquer aussi que parfois, comme on le verra, G_2 soit en revanche un développement de G_1 ?

Quelles conclusions en tirer concernant l'histoire du texte d'Euclide ? Tout d'abord, que les doutes sur la paternité de la version G_2 sortent plus que renforcés par la tradition arabe. S'il serait illusoire de voir là *le* texte d'Euclide, il n'en demeure pas moins que l'érudit auquel nous devons sa forme actuelle – qu'il se nomme Théon ou autrement – avait entre les mains une tradition indépendante du texte de l'*Optique*, et que cette recension dérive d'un archétype dont seule la tradition arabe a gardé quelques traces.

On propose d'abord, dans le tableau suivant, une table des concordances (ou des discordances) entre la version G_1, la version G_2, la version commentée par al-Kindī[7] que nous notons K, la traduction arabe conservée A, le commentaire d'al-Ṭūsī et celui d'Ibn Abī Jarrāda. Ce tableau ne peut être que très schématique, étant donné les différences considérables qui séparent les diverses traditions, dont nous allons donner

---

[6] Ainsi W. R. Knorr conclut à propos de la proposition 15 (en notant G_1 = A et G_2 = B) : "In sum, the comparison of the two versions of prop. 15 illustrates a general pattern: the proofs in A are ampler and the exposition more regular than in B; the idiosyncratic terminology of B (e.g. οὐκοῦν) is generally avoided in A, although it is occasionally found there; while idiosyncratic terms of A are absent from B. These features accord nicely with the view that B is the antecedent of A." ["Pseudo-Euclidean Reflections in Ancient Optics", p. 33.]

[7] Version commentée dans la *Rectification*.

quelques exemples. Il ne concerne que l'ordre des propositions, leur nombre et leur numérotation.

Sigla

G_1 Version de l'*Optique* considérée par Heiberg comme authentique et établie à partir de plusieurs manuscrits, notamment le *Vindobonensis phil. gr.* 103.

G_2 Version de l'*Optique* considérée par Heiberg comme une recension de Théon d'Alexandrie, établie à partir de plusieurs manuscrits, notamment le *Vaticanus gr.* 204.

A Version de l'*Optique* provenant du texte par nous établi à partir des trois manuscrits suivants:
1. Leyde, Or. 133, fol. 81-105 [noté L].
2. Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 260, fol. 59^{r}-91^{r} [noté Q].
3. Istanbul, Topkapı Saray, Ahmet III 3494, fol. 59^{v}-74^{r} [noté I].
Nous adoptons la numérotation des propositions du manuscrit de Leyde.

K Version de l'*Optique* commentée par al-Kindī dans la *Rectification*.
Qum, Marʿashī Najafī 7580, fol. 69^{v} à 102^{v}.

T Rédaction de l'*Optique* d'al-Ṭūsī (voir la liste des manuscrits dans la Bibliographie).

J Rédaction de l'*Optique* d'Ibn Abī Jarrāda, Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 638, fol. 1^{v}-12^{r}.

G_1	G_2	A	K	T	J
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5
6a	6a	6	6	6	6
6b	6b	7	7	7	7
7	7	8	8	8	8
8	8	9	9	9	9
9	9	10	10	10	10
10	10	11	11	11	11
11	11	12	12	12	12
12	12	13	13	13	13
13	13	14	14	14	14
14	14	15	15	15	15
15	15	16	16	16	16
16	16	17	17	17	17
17	17	18	18	18	18
18	18	19	19	19	19
19	19	20	20	20	20
20	20	21	21	21	21
21	21	22	22	22	22
22	absente	23	23	23	23
22 Autrement 1	absente	absente	absente	absente	absente
22 Autrement 2	22	absente	absente	absente	absente
23	23	24	24	24	24
24	24	25	25	25	25
25	25	26	26	26	26
26	26	27	27	27	27
27	27	28	28	28	28
28	absente	29	29a	29	29
28 Autrement	28	30	absente	30	30
29	29	31	29b	31	31
30	30	32	30a	32	32

G_1	G_2	A	K	T	J
31	31	33	30b	33	33
32	32	34	31	34	34
33	33	35	32	35	35
34a	34	36	33	36	36
34b	35a	37	34	37	37
34c	35b	absente	35a	absente	absente
35 énoncé	36 énoncé	38 énoncé	35b	38	38
35a	36a, b, c	39	36a	39	39
35b	absente	absente	36b	absente	absente
35c	36d	40	37a	40	40
35d	36e	41	37b	41	41
36	37	42	38	42	42
37a	absente	43a	39	43	43
37b	absente	absente	absente	absente	absente
38	absente	43b et 48	40 et 44	43b et 48	43b et 48
39a	38a	44	41a	44	44
absente	absente	absente	41b	absente	absente
absente	absente	absente	41c	absente	absente
39b	38b	45a	42a	fin de 44	44
absente	absente	absente	42b, c	absente	absente
absente	40a	45b	43a	47	47
40	40b	46	43b	46	46
absente	40c	47	43c	45	45
41	39	49	45	49	49
42a	42	absente	absente	absente	absente
42b	43	50	absente		
	43	50		50	50
Autrement	43	50	absente		
43	44	51	46	51	51
44	absente	52	47	52	52
Autrement	45	absente	absente	absente	absente
45	46	54	49	54	54
46	absente	53	48	53	53
47	47	55	51	55	55

G_1	G_2	A	K	T	J
48	48	absente	absente	absente	absente
49	absente	56	52	56	56
50	49	57	53	57	57
51	50	58	54	58	58
52	51	absente	absente	absente	absente
53	52	59	55	59	59
54	53	absente	absente	absente	absente
Autrement 1	absente	60	absente	60	60
Autrement 2	absente	absente	absente	absente	absente
55	54	61	partie de 56	61	61
56	55	62	absente	62	62
57	56	63	absente	63	63
58	57a	64	59	64	64

La lecture attentive du tableau ci-dessus suffit à modifier notre connaissance des traditions textuelles de l'*Optique* d'Euclide ; elle montre de plus que le face à face dans lequel on a enfermé les deux versions G_1 et G_2 est de pure circonstance. L'ignorance de K, et la négligence à l'égard de A, ont fait prendre ce fait de circonstance pour un fait essentiel. Ce face à face ne pouvait donc avoir qu'une seule issue : si l'on attribuait l'une des deux versions à Euclide pour la considérer comme la version de base, l'autre devenait du même coup le fait d'un commentateur. C'est précisément la démarche de l'éminent historien et philologue Heiberg, lorsqu'il considère G_1 comme la version de base, et G_2 comme la recension de Théon. C'est également ce qu'ont fait ses contradicteurs en prenant simplement le contre-pied, pour considérer G_2 comme la version de base, et G_1 comme une rédaction développée à partir de celle-ci.

La thèse de Heiberg, qui nous semble injustifiée, part d'une constatation et aboutit à une conjecture, qui, elles, nous semblent en revanche correctes. Le constat est que G_1 et G_2 sont différentes ; constat exact, même si la raison invoquée – G_2 est une recension de G_1 – n'est pas la bonne. Cette différence a été élégamment décrite par Ver Eecke, lorsqu'il écrit dans l'introduction de sa traduction de l'*Optique* que la version G_2 "n'est ni corrective ni complétive" de la version G_1, et que la première, même si elle est souvent d'un "verbalisme plus concis", est géométriquement beaucoup plus rigoureuse[8].

[8] *Euclide. L'optique et la catoptrique. Œuvres traduites pour la première fois du grec en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke* (Paris, 1959), p. XXVIII.

Quant à la conjecture, c'est celle qui voit dans G_2 une recension. Cette conjecture semble défendable, à condition que G_2 ne soit pas la recension de G_1.

Certes, la comparaison entre G_2 et G_1 semble suffire à établir leur indépendance. Mais la prise en compte de A et, à un moindre degré, de K, ne laisse plus guère de chance à cette alternative "développement-recension". Nous allons en effet montrer que les versions de l'*Optique* qui nous sont parvenues ne dérivent pas les unes des autres – et ce, non point malgré leurs chevauchements ou leurs superpositions, mais en raison précise de ceux-ci. Qu'on veuille donc bien pardonner les longueurs et les répétitions dont la comparaison ne saurait faire l'économie.

Nous commencerons par considérer l'ensemble des versions, en insistant d'abord sur G_1 et G_2, à l'aide de A. L'une des divergences les plus frappantes entre G_1 et G_2 est la littération. Mais cette divergence distingue G_2 de l'ensemble des versions. En effet, G_1, A et K ont, à quelques variantes près, la même littération. Gardons pour l'heure cette différence en mémoire, pour revenir aux textes eux-mêmes. Nous procéderons à l'aide de quelques exemples.

Le premier exemple se présente dès la justification de la quatrième proposition. Contrairement à G_1, la version G_2 ne comporte ici aucune justification. On observe pour la proposition 6 une différence tout aussi importante, dont nous discuterons plus loin. Arrêtons-nous à la septième proposition.

Proposition 7. – Bien que le sens de l'énoncé demeure identique dans les quatre versions, on peut cependant relever quelques points, qui suggèrent que A est plus proche de G_2 que de G_1.

Dans G_1, l'énoncé est ainsi donné :

> Les grandeurs égales situées sur une même droite, non placées à la suite l'une de l'autre, et inégalement distantes de l'œil, apparaissent inégales. [Heiberg, p. 12, *l.* 2-4].

Dans G_2 manque totalement l'expression "et inégalement distantes de l'œil (καὶ ἄνισον διεστηκότα τοῦ ὄμματος)", et l'énoncé se récrit :

> Si des grandeurs égales situées sur la même droite sont posées plus loin les unes que les autres, elles apparaissent inégales. [Heiberg, p. 162, *l.* 16-17]

Ce dernier énoncé est plus proche de celui de A, qui s'écrit :

المقادير المتساوية إذا وضعت <على خطّ واحد> على أماكن متفرقة ترى مختلفة في العظم.

> Si les grandeurs égales sont situées sur une même droite dans des lieux différents, elles apparaissent inégales[9].

[9] Mss I, fol. 60^v ; L, fol. 83 ; Q, fol. 61^v.

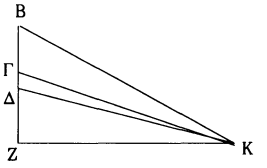
Enfin, la version K comportait l'expression qui manque à G_2 et à A. On lit en effet :

> Pour des grandeurs égales situées sur une même droite dans des lieux dispersés, à des distances inégales de l'œil (*mukhtalifa al-bu'd min al-baṣar*), si la pupille est par rapport à cette droite dans une position à partir de laquelle on peut mener des droites aux extrémités des grandeurs écartées, coupant cette droite de laquelle et sur laquelle sont les deux grandeurs, alors les grandeurs seront vues de grandeurs inégales. [p. 183, *l.* 12 - 185, *l.* 2]

Si donc l'on tient compte des variations imposées par les contraintes des traductions, on remarque que A et G_2 donnent le même énoncé, et que G_1 et K aussi. La seconde partie de l'énoncé de K peut aussi bien provenir de la tradition manuscrite, que du traducteur ou d'al-Kindī lui même. Mais seule la première partie nous intéresse ici. Le moins que l'on puisse dire en tout cas, est qu'il y avait deux traditions textuelles pour le même texte : l'une comportait l'expression "à des distances inégales de l'œil", que l'autre ne contenait pas. Celle-ci ne peut donc être l'ajout d'une éventuelle rédaction de G_1.

Ensuite, les choses ne font que se compliquer, lorsque nous en venons au texte de la démonstration. Ici s'imposent d'autres rapprochements entre G_1, A et K, d'une part, et G_2 seul d'autre part. Voici d'abord ce qu'on lit dans G_2 :

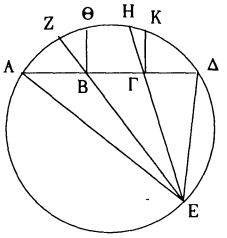
> En effet, soient les grandeurs $B\Gamma$, ΔZ ; soit K l'œil ; faisons tomber les rayons visuels KB, $K\Gamma$, $K\Delta$, KZ, et que l'angle compris sous les droites KZ, ZB soit droit. Dès lors, l'angle Σ est plus grand que l'angle Φ, de sorte que la grandeur ΔZ apparaîtra aussi plus grande que la grandeur ΓB. En conséquence, les grandeurs $B\Gamma$, ΔZ apparaissent inégales. [Heiberg, p. 162, *l.* 18-23 ; trad. Ver Eecke, p. 61]



Il n'y a, à l'évidence, aucune justification. Mais la rédaction ne fait que reprendre les hypothèses de la proposition 4, laquelle est un cas particulier de 7. Le texte de G_1 tranche indubitablement par rapport à ce dernier. Nous le citerons, en dépit de sa longueur :

> Soient AB, $\Gamma\Delta$ deux grandeurs égales sur la même droite $A\Delta$, non placées à la suite l'une de l'autre, et à distances inégales de l'œil. Menons les rayons incidents EA, $E\Delta$, et que la droite EA soit plus grande que la droite $E\Delta$. Je dis que la droite $\Gamma\Delta$ paraîtra plus grande que la droite AB. Faisons tomber les rayons EB, $E\Gamma$, et décrivons le cercle $AE\Delta$ autour du triangle $AE\Delta$. Que les droites BZ, ΓH soient menées en prolongement des droites EB, $E\Gamma$, et élevons à angles droits, des points B, Γ, les droites $B\Theta$, ΓK, *qui sont égales*.

Or la droite *AB* est égale à la droite *ΓΔ* ; mais l'angle compris sous les droites *AB*, *BΘ* est aussi égal à l'angle compris sous les droites *ΔΓ*, *ΓK* ; donc, l'arc *AΘ* est aussi égal à l'arc *ΔK*. En conséquence, l'arc *KΔ* est plus grand que l'arc *ZA* ; donc l'arc *HΔ* est beaucoup plus grand que l'arc *ZA*. Mais, l'angle compris sous les droites *AE*, *EZ* est établi sur l'arc *AZ*, et l'angle compris sous les droites *HE*, *EΔ* établi sur l'arc *HΔ* ; par conséquent, l'angle compris sous les droites *HE*, *EΔ* est plus grand que celui qui est compris sous les droites *AE*, *EZ*. Mais la droite *AB* est vue sous l'angle compris sous les droites *AE*, *EZ*, et la droite *ΓΔ* sous l'angle compris sous les droites *HE*, *EΔ* ; donc, la droite *ΓΔ* paraît plus grande que la droite *AB*. [Heiberg, p. 12, *l.* 5-29 ; trad. Ver Eecke p. 6]



Si maintenant on compare ce dernier texte à celui de la version A, on constate qu'ils sont identiques, à une exception près : la phrase notée en italique, où l'on affirme sans aucune démonstration l'égalité de *BΘ*, *ΓK*, est absente de A. Il s'agit en effet d'une phrase douteuse. Dans G_1 et dans A, cette démonstration utilise une égalité d'arcs qui n'est pas vraie dans tous les cas (voir note complémentaire à la *Rectification*, prop. 7). Enfin, dans K, on retrouve la même figure et la même démonstration que dans G_1 et A (voir plus loin).

On vient donc de constater que les versions se regroupent d'une certaine manière, selon qu'il s'agit de l'énoncé ou de la démonstration. Nous avons ainsi d'abord (A, G_2) et (G_1, K) ; et ensuite (G_1, A, K) et (G_2). Par conséquent, l'alternative (G_1, G_2) éclate : elle est trop étroite pour tenir compte à la fois des différentes versions et des différences entre G_1 et G_2. Ici, de toute évidence, le texte de G_2, celui de la démonstration, ne pouvait pas être un texte de base, mais une copie d'un père dégénéré ; ou bien la copie elle-même est une mauvaise recension d'un texte que nous n'avons plus, mais dont A conserve au moins une trace.

Que l'on veuille bien pour l'heure admettre cette conclusion, d'une manière conjecturale. Nous allons tenter de la confirmer par d'autres exemples.

Mais, avant de nous arrêter sur un second exemple – la proposition 15 – notons rapidement quelques points saillants des propositions 9 - 14.

- L'énoncé de la proposition 9 dans G_1, G_2 et A, porte sur des figures rectangulaires, dans l'intention de montrer qu'elles sont vues arrondies à distance ; alors que dans K l'énoncé porte sur une figure polygonale qui admet un centre de symétrie. Mais G_1 et A donnent la même figure,

tandis que G_2 reproduit une figure qui ne correspond pas au texte. Nous reprendrons cette proposition plus loin[10].

- À la fin de la proposition 10, G_1 et G_2 citent une partie de ce qu'elles avaient déjà donné comme définition 5 : τὰ γὰρ ὑπὸ μετεωροτέρων ἀκτίνων ὁρώμενα μετεωρότερα φαίνεται [Heiberg, p. 18, *l.* 12-13]. À cette phrase-ci, non plus qu'à cette définition, rien ne correspond ni dans A ni dans K.

- La proposition 11 ne diffère pas vraiment de la proposition 10. Dans G_1 la figure est simplifiée comme il se doit. Il en est de même dans A. Dans G_2 et dans K, la figure est identique à la précédente.

- La proposition 12 est presque identique dans G_1, G_2 et dans A. Aucune des trois versions ne précise d'ailleurs la position de l'œil, qu'il faut supposer dans la bande formée par les deux droites (voir note complémentaire à la proposition 13 de la *Rectification*). Le texte de G_2 reste cependant moins précis que les deux autres, mais, dans les trois textes, l'explication fournie est une simple illustration de la définition 6, sans véritable justification. Si G_1 était une rédaction de G_2, on se serait attendu à une tentative pour remédier à ce défaut ; or il n'en est rien. Dans K, on trouve des précisions sur la figure et une tentative de justification, que nous devons sans doute à al-Kindī. On peut du reste réitérer des remarques analogues pour les deux propositions suivantes.

On ne manque pas de voir que les versions se regroupent pour se séparer, et pour manifester une indépendance les unes à l'égard des autres, qui n'exclut pas d'ailleurs un certain ordre. Poursuivons l'examen pour éviter l'arbitraire, et venons-en à la proposition 15 : elle nous indiquera déjà cet ordre confirmé par bien d'autres propositions.

Cette proposition est ainsi énoncée dans G_1 :

> Parmi les grandeurs placées sous le même œil (ὑπὸ τὸ αὐτὸ ὄμμα) qui se dépassent entre elles, la plus grande se montre surapparente d'une plus grande grandeur si l'œil se rapproche, et d'une plus petite grandeur si l'œil s'éloigne. [Heiberg, p. 22, *l.* 21-23 ; trad. Ver Eecke, p. 11]

À deux variantes près, cet énoncé est bien proche de celui de G_2, comme on peut aisément le vérifier. Or, cette proximité est d'autant plus importante que A, habituellement plus proche de G_1 que G_2 de ce dernier, s'en écarte franchement. Plus encore : cette fois la version K elle aussi s'éloigne de G_1 et partage en quelque sorte l'énoncé de A. Or, on se trompera lourdement si l'on fait endosser la responsabilité de l'écart au traducteur en arabe du texte grec. Cet écart est structurel, on le verra, et se réitère dans la proposition 16, liée à cette proposition-ci. Voici d'abord l'énoncé de A de la même proposition 15 (d'après la numérotation de G_1, qui est 16 dans A) :

---

[10] Sur ce problème, voir *infra*, p. 63-65.

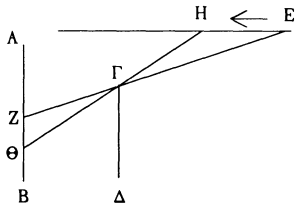
إذا كان مقدران تحت البصر أحدهما أعظم من الآخر، فإن الذي يُرى من الأعظم مع رؤية الأصغر أصغرُ قدراً مما يُرى من الأعظم مع رؤية الأصغر إذا انخفض البصر.

Si deux grandeurs sont placées sous l'œil, dont l'une est plus grande que l'autre, alors ce qu'on voit de la plus grande, tout en voyant la plus petite, est d'une grandeur plus petite que ce qu'on voit de la plus grande tout en voyant la plus petite si l'œil est abaissé[11].

L'énoncé de K s'apparente donc à ce dernier, mais avec des précisions qui manquent aussi bien à G_1 qu'à G_2 et à A. Dans ces trois versions, en effet, les positions de l'œil et des grandeurs (il s'agit en fait de deux grandeurs pour toutes les versions) ne sont pas précisées. Seul K mentionne explicitement que l'œil est dans le plan des deux grandeurs, au delà de la petite, et qu'il se déplace sur un plan parallèle à l'horizon. Cette différence entre K et les trois autres versions pourrait aussi bien remonter à la version originale qu'à al-Kindī.

Venons-en maintenant à la démonstration. Cette fois l'écart augmente, non seulement entre G_1 et A, mais aussi entre G_1 et G_2. C'est dire que la deuxième partie de la démonstration dans G_2 diffère nettement de la partie correspondante dans G_1. Pour saisir ces différences, commençons par citer la démonstration de G_1 :

Soient *AB*, *ΓΔ* deux grandeurs inégales ; soit *AB* la plus grande, et soit *E* l'œil d'où tombe le rayon *EZ* passant par le point *Γ*. Dès lors, puisque les grandeurs *ZB*, *ΓΔ* apparaissent sous l'œil et sous le rayon *EZ*, il s'ensuit que la grandeur *AB* paraît dépasser la grandeur *ΓΔ* de la grandeur *AZ*. Déplaçons l'œil à un endroit plus rapproché, et qu'il soit le point *H* d'où tombe le rayon *HΘ* passant par le point *Γ*. Dès lors, puisque la grandeur *ΓΔ* et la grandeur *ΘB* apparaissent sous l'œil et sous le rayon *HΘ*, il s'ensuit que la grandeur *AB* apparaîtra plus grande que la grandeur *ΓΔ* de la grandeur *AΘ*. Or, elle est vue plus grande que la grandeur *AZ* sous l'œil *E*, et la grandeur *AΘ* est plus grande que la grandeur *AZ* ; par conséquent, la plus grande grandeur se montre surapparente d'une plus grande grandeur si l'œil se rapproche, et d'une plus petite grandeur si l'œil s'éloigne. [Heiberg, p. 22, *l.* 24 - p. 23, *l.* 9 ; trad. Ver Eecke, p. 11]



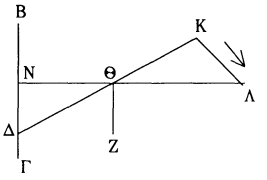
Comme on vient de le remarquer, les positions de l'œil et des grandeurs ne sont pas précisées. Il faut donc supposer que l'œil est dans le plan de

[11] Mss I, fol. 62r ; L, fol. 85 ; Q, fol. 65v.

ΓΔ et de *AB*, et qu'il se déplace sur une parallèle à *BΔ*. Si l'œil est en *E*, la partie *AZ* est vue au-dessus de *ΓΔ*, et si l'œil se rapproche de *H*, la partie *AΘ* est vue au-dessus de *ΓΔ*, et on a *AΘ* > *AZ*, car le rayon *ΓΘ* est au-dessous de *ΓZ*.

Un simple regard sur la démonstration de G_2 montre qu'elle diffère nettement de la précédente. Commençons par la reproduire :

> En effet, soit la grandeur *BΓ* plus grande que la grandeur *ΘZ* ; posons l'œil *K* au-dessus des grandeurs *BΓ*, *ΘZ*, et faisons tomber le rayon *KΔ* passant par le point *Θ*. Dès lors, la grandeur *BΓ* paraît plus grande que la grandeur *ΘZ* de la grandeur *BΔ* ; car la grandeur *ΘZ* paraît égale à la grandeur *ΔΓ*, parce que l'on voit par un même œil et par le rayon *KΔ*. Déplaçons donc l'œil *en arrière*[12], sur le point *Λ*, et faisons tomber le rayon *ΛN* passant par le point *Θ*. Dès lors, la grandeur *BΓ* paraît de nouveau plus grande que la grandeur *ΘZ* de la grandeur *BN*. En conséquence, si l'œil s'éloigne, la grandeur *BΓ* paraît dépasser la grandeur *ΘZ* d'une grandeur plus petite que si l'œil se rapproche. [Heiberg, p. 172, *l.* 14-23 ; trad. Ver Eecke p. 65]

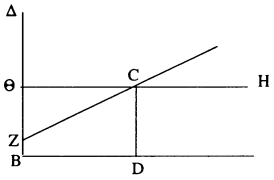


On remarque, à la lecture du précédent texte, que G_2 est la seule version qui pose la condition, non nécessaire, que l'œil soit "au-dessus" des deux grandeurs. Plus important encore : G_2 n'indique pas clairement le sens du déplacement de l'œil, contrairement à G_1, qui le fait se mouvoir selon l'horizontale. Peut-être est-ce en raison de cette ambiguïté que le traducteur latin a rendu πάλιν par "rursus", et Ver Eecke par "en arrière". D'ailleurs, le texte tient aussi bien pour *KΛ* incliné, comme dans la figure, que pour *KΛ* vertical. C'est pour cette raison que la seconde partie du texte diffère aussi nettement de G_1. Mais qu'en est-il de A ? Voici sa démonstration :

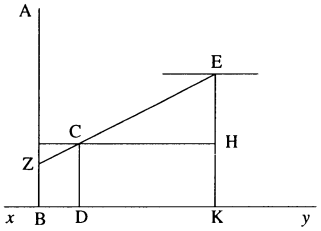
> Soient les deux grandeurs les deux droites *AB* et *CD*, *AB* plus grande que *CD*, l'œil le point *E*, et le rayon mené du point *E* qui passe par *C* et qui est *EZ*. Puisque ce qu'on voit de la grandeur *AB* en même temps que la grandeur *CD* par le rayon *EZ* est égal à la grandeur *ZB*, alors la grandeur de *AB* est vue plus grande que la grandeur de *CD* de la grandeur *AZ*. On abaisse ensuite l'œil à la position *H* et on mène le rayon au point *C*, on a la droite *HΘ*. On voit donc la grandeur de *ΘB* en même temps que la grandeur de *CD*, et elles sont égales. On voit donc la grandeur de *AB* plus grande que la grandeur de *CD* de la grandeur *ΘA*. Or, on la voyait du point *E* plus grande qu'elle de la grandeur

[12] On lit dans Heiberg, p. 172, *l.* 18-19 : "πάλιν δὴ μεταχείσθω τὸ ὄμμα ἐπὶ τὸ *Λ*" que le traducteur a rendu par "rursus igitur occulus ad *Λ* transferatur". On peut rendre l'expression grecque par "que l'on fasse venir en sens inverse l'œil au point *Λ*".

AZ. Mais *AZ* est plus grande que *AΘ*. Si donc l'œil s'abaisse, ce qu'on voit de la grandeur la plus grande en même temps que la plus petite grandeur est plus grand que ce qu'on voyait avant cela. Ce qu'il fallait démontrer[13].



Observons pour récapituler que dans G_1, A et K (pour K, voir plus loin) on considère deux segments, soient *AB* et *CD*, perpendiculaires au plan horizontal *xy* ; on suppose $AB > CD$, l'œil *E* placé dans l'angle *CDy* à une hauteur $h = EK$, avec $h > CD$.



Dans G_1, l'œil se déplace sur une parallèle à *xy*, et on étudie la variation de *AZ* en fonction de ce déplacement. Dans G_2, nous avons remarqué que ce déplacement n'est pas clair, mais ne s'effectue nullement sur la parallèle à *xy*. On étudie également la variation de *AZ*. Dans A – ainsi que dans K – l'œil se déplace sur une perpendiculaire à *xy*, tout en restant au-dessus du point *H* ; on étudie la variation de *ZB* de la grandeur *AB*, qui est vue "en même temps que *CD*". Cette différence ne pouvait à l'évidence être le fait d'un traducteur. Enfin, cette fois encore A et K ont la même littération que G_1. Cette discussion rapide semble nous indiquer une voie pour reconnaître deux grandes familles de traditions manuscrites, qui descendent d'un même ancêtre : la première contenait A et K, et la seconde G_1. C'est de l'un des manuscrits de cette dernière tradition que G_2 est très vraisemblablement la recension. Poursuivons notre analyse.

Nous commencerons par donner quelques points saillants, avant de considérer un nouvel exemple.

- Les remarques faites sur la proposition 15 peuvent être réitérées au sujet de la proposition 16, où l'on étudie $h < CD$.

---

[13] Mss I, fol. 62^r ; L, fol. 85-86 ; Q, fol. 65^v.

- La proposition 18 porte sur l'évaluation d'une hauteur à l'aide du rayon du soleil. La position de l'œil donnée dans G_1 (ce qui, en toute logique, n'a pas lieu d'être) est absente de toutes les autres versions : A, K et G_2. De plus, les énoncés de G_2 et de A ne mentionnent pas le soleil, contrairement à celui de G_1. La version A conserve toujours la littération de G_1, mais l'ordre des rapports est changé.

- La proposition 20 porte sur la détermination d'une profondeur. Dans G_1, on trouve l'œil *E* et le rayon solaire *ED* (ὄμμα δὲ ἔστω τὸ Ε ... ἡλίου ἀκτὶς ἡ ΕΔ)[14], ce qui est dénué de sens. Il s'agit du rayon visuel, comme le rapportent A et K. Quant à G_2, il n'invoque que le terme "rayon". Dans cette dernière version, la figure est différente et comprend un segment *AK*, tracé sans être utilisé. C'est cette figure de G_2 que l'on trouve dans A, qui a toujours la littération de G_1. Un segment *BC* figure dans A, qui n'intervient pas dans le raisonnement, lequel est très proche de celui de G_1 – seul l'ordre des rapports change. Dans K, la figure est la même que dans A et dans G_2.

- Dans la proposition 21, qui porte sur la détermination d'une longueur, G_1 et G_2 sont proches, mais la figure dans la première version est un triangle quelconque, alors que dans la seconde c'est, sans nécessité, un triangle rectangle. La figure dans A est celle de G_2, tout en ayant, de même que le texte, la même littération que dans G_1 ; seul l'ordre des rapports est modifié.

- La proposition 22 énonce que, si l'œil est placé dans le plan d'un arc de cercle, il voit celui-ci comme un segment. G_1 donne une démonstration de cette proposition. Dans cette démonstration, on fait intervenir le centre du cercle, mais la conclusion n'est pas justifiée. Quoi qu'il en soit, le texte, ainsi que la figure, sont dans A. Dans K, al-Kindī ne fait pas intervenir le centre du cercle. Or ce texte, ainsi que la figure, sont absents de G_2, qui ne fait que reproduire le second Autrement de G_1. Cet Autrement comprend des résultats affirmés sans justification. Nous reprenons cette proposition plus loin.

Venons-en à présent à la proposition 28, pour l'analyser de façon plus détaillée. Dans G_1, l'énoncé de cette proposition s'écrit :

> Si un cylindre est regardé d'un seul œil de quelque manière que ce soit (ὁπωσδηποτοῦν ... ὁρωμένου), on verra moins que le demi-cylindre. [Heiberg, p. 46, *l.* 12-13 ; trad. Ver Eecke, p. 20]

Heiberg avait noté quelques contradictions entre la position *quelconque* affirmée, et le fait que, dans la démonstration, on ne considèrait que le cas de "l'œil placé dans le même plan que celui où se trouve la base du cylindre".

---

[14] Heiberg, p. 30, *l.* 15-18.

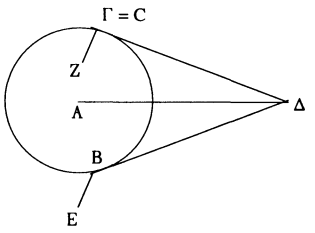
Commençons par donner, en regard, les textes de G_1 et de A, pour voir comment se développent les différentes versions.

< Énoncé >

G_1	A
Si un cylindre est regardé d'un seul œil de quelque manière que ce soit (ὁπωσδηποτοῦν ... ὁρωμένου) on verra moins que le demi-cylindre.	Si on a un cylindre et qu'on le regarde de quelque position que ce soit (*wa-nuẓira ilayhā min ayyi al-mawāḍiʿ kāna*), on verra moins qu'un demi-cylindre.

< Démonstration >

Soit le cylindre dont le centre de la base est le point *A*. Circonscrivons le cercle *BΓ* autour du point *A*, et plaçons l'œil dans le même plan où se trouve la base *BΓ* du cylindre. Menons la droite de jonction *ΔA* du point *Δ* au point *A*. Menons, du point *Δ*, les rayons *ΔB*, *ΔΓ*, et qu'ils soient tangents au cercle. Enfin, élevons, des points *B*, *Γ*, les côtés à angles droits *BE*, *ΓZ* du cylindre, et étendons le plan passant par les droites *ΔB*, *BE*, ainsi que le plan passant par les droites *ΔΓ*, *ΓZ*. Aucun de ces plans ne coupe donc le cylindre ; car ils sont tangents, comme sont tangentes les droites *ΔB*, *ΔΓ*, et les droites *BE*, *ΓZ*. En conséquence, le segment *BΓ*, plus petit que le demi-cercle, est vu sous les rayons *BΔ*, *ΔΓ*. On verra donc, de la même manière, moins que le demi-cylindre.
Si le cylindre est regardé des deux yeux, il est manifeste qu'il se présentera pour lui des choses qui ont été dites pour la sphère.
(Heiberg, p. 46, *l.* 14 - p. 47, *l.* 8 ; trad. Ver Eecke, p. 20-21)



Soit un cylindre dont le centre de la base est le point *A*. Circonscrivons le cercle *BC* autour du point *A* ; la position de l'œil le point *D* tel que le point de l'œil et la surface de la base du cylindre sur laquelle il y a *BC* soient dans un même plan. Joignons le point *D* au point *A* par la droite *DA*, et menons du point *D* les rayons *DB*, *DC* ; qu'ils soient tangents au cercle. Menons des points *B* et *C* les deux côtés du cylindre, *BE* et *CZ*, suivant des angles droits, et étendons les deux plans qui passent par *DB* et *BE* et par *CZ* et *DC*. Il est clair qu'aucun de ces deux plans ne coupe le cylindre, car ils sont tangents *à la surface du cylindre*, du fait que les deux droites *DB*, *DC* sont tangentes, et que les deux droites *BE*, *CZ* sont également tangentes. Le segment *BC*, plus petit qu'un demi-cercle, est vu sous les deux rayons *BD*, *DC*. Par conséquent, ce qu'on voit du cylindre est de la même grandeur. *Ce qu'il fallait démontrer.*
(Mss I, fol. 64^v ; L, fol. 90 ; Q, fol. 72^r)

Sur le plan textuel, si l'on tient compte des problèmes de traduction en arabe du texte grec, le dernier paragraphe de G_1 manque à A – il s'agit du paragraphe noté en italique. Inversement, deux expressions de A

(notées elles aussi en italique) sont absentes de G_1, dont la première est la plus importante : "à la surface du cylindre". Pour le reste, les deux textes sont identiques, à ceci près qu'ils énoncent la conclusion de façon quelque peu différente. Mais il s'agit davantage de la tournure des phrases que d'une véritable différence. Ainsi, dans les deux textes, les tangentes *DB* et *DC* au cercle de base, issues de l'œil *D*, ayant été tracées, on mentionne les génératrices *BE* et *CZ*. Les plans tangents au cylindre sont donc définis. La conclusion alors donnée présuppose que l'arc *BC* du côté de l'œil est plus petit qu'un demi-cercle.

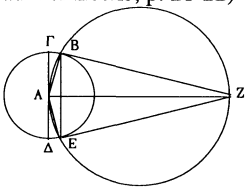
Cette proposition est suivie d'un Autrement, destiné non pas à en donner une autre démonstration, mais à justifier la propriété précédemment admise, celle de l'arc *BC*. Or cette propriété a déjà été montrée dans la proposition 23 et utilisée, sans que cela soit dit explicitement, dans la proposition 27. Il aurait donc suffi de se référer à la démonstration de géométrie plane, faite dans la proposition 23, reprise ici dans l'Autrement. En tout cas, authentique ou non, cet Autrement se trouve aussi bien dans G_1 que dans G_2, A et K. Dans A – cf. proposition 30 – on traite identiquement cette justification de la proposition évoquée. Mais ici, on relève quelques différences intéressantes entre les différentes versions.

Avant d'en discuter, rappelons ce qui a déjà été inscrit dans le tableau : à part l'énoncé, G_2 ne reproduit aucune démonstration de la proposition 28. L'unanimité des trois versions indépendantes G_1, A et K, montre qu'il s'agit là d'une omission de la part de G_2 ou de l'un de ses pères, plutôt que d'un ajout. Au lieu donc de la démonstration, G_2, insensible à la moindre contradiction – ce qui exprime bien le niveau de la rédaction – reproduit l'Autrement comme s'il s'agissait de la preuve de 28. Pour saisir les différences entre les versions, citons l'Autrement dans G_1, G_2 et A.

G_1

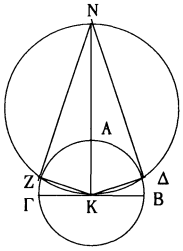
AUTREMENT. Soit un cercle dont le centre est le point *A*, et soit *Z* le point situé à l'extérieur. Menons la droite de jonction *AZ* du point *A* au point *Z*, et élevons, du point *A*, la droite *ΓΔ* à angles droits de part et d'autre de la droite *AZ*. La droite *ΓΔ* est donc un diamètre du cercle. Circonscrivons le cercle *ABZE* autour de la droite *AZ*, et menons les droites de jonction *AB*, *BZ*, *ZE*, *EA*. Les droites *ZB*, *ZE* sont donc tangentes parce que les angles aux points *E*, *B* sont droits. Dès lors puisque les rayons *BZ*, *ZE* tombent d'un point *Z* à la circonférence du cercle, il s'ensuit que l'on verra la partie *BE* du cercle. Or, la partie *ΓBEΔ* est un demi-cercle ; donc la partie *BE* est plus petite que le demi-cercle.

Or ce théorème a lieu pour les cônes et les cylindres ; car, si les côtés à angles droits des cylindres sont menés des points *B*, *E*, ils sont tangents aux cylindres, les rayons tombent sur cette partie ; la partie *BΔE* sera soustraite à la vue, et c'est la partie *BE* du demi-cercle qui sera contemplée. En conséquence, c'est aussi la même partie plus petite des cônes qui sera contemplée.
(Heiberg, p. 48, *l.* 9-21 ; trad Ver Eecke, p. 21-22)



G_2

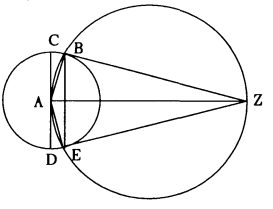
En effet, soit *K* le centre du cercle entourant la base du cylindre ; menons la droite *NK* de l'œil *N* au centre *K*, et menons, sur celle-ci, par le point *K*, la droite *BΓ* à angles droits. Décrivons le cercle autour de la droite *KN*, et menons les droites de jonction *NZ*, *NK*, *NΔ*, *ΔK*. Dès lors, les angles aux points *Z*, *Δ* sont droits ; donc, les droites *ZN*, *NΔ* sont tangentes en un seul point, et les rayons amenés de l'œil *N* tombent suivant les droites *NZ*, *NΔ* ; de sorte que l'arc *ZΛΔ* seul sera vu. Mais l'arc *ZΛΔ* est plus petit que le demi-cercle *ΓΛB* ; donc, l'arc *ZΛΔ* sera vu plus petit que le demi-cercle ; ce qui représente le cylindre, car on démontre sur toute la surface du cylindre de la même manière qu'à sa base ; de sorte que ce qui apparaît est moins que la moitié du cylindre entier.
(Heiberg, p. 188, *l.* 19 - p. 190, *l.* 3 ; trad. Ver Eecke, p. 72)



A

Traçons un cercle dont le centre est le point *A*, et soit le point *Z* en élévation. Joignons le point *A* au point *Z* par la droite *AZ* et menons du point *A* de part et d'autre de *AZ* la droite *CD* suivant des angles droits. La droite *CD* est donc un diamètre du cercle. Circonscrivons le cercle *ABZE* autour de la droite *AZ*. Joignons *AB*, *BZ*, *ZE*, *EA*. Les deux droites *BZ*, *ZE* sont donc tangentes au cercle, parce que les deux angles *B*, *E* sont droits. Puis donc que les rayons *ZB*, *ZE* tombent d'un point *Z* à la circonférence du cercle, on verra la partie *BA* du cercle. Or *CBED* est un demi-cercle, donc *BE* est plus petite qu'un demi-cercle.

Nous avons posé cette proposition en vue des perpendiculaires (*'umud*) et des cylindres ; car, si on mène des points *B*, *E* les côtés à angles droits des perpendiculaires (*'umud*) et des cylindres, ils leur seront tangents, du côté sur lequel tombent les rayons, la partie *BCDE* sera voilée à l'œil et ce qui sera vu est du côté de *BE*, et ce sera plus petit qu'un demi-cercle. C'est de la grandeur de cela que sera ce qu'on voit des perpendiculaires (*'umud*) et des cylindres.
[L, fol. 90-91 ; Q, fol. 72v-73r)



La première remarque qui s'impose est que, pour l'essentiel, G_1 et A donnent le même texte, destiné à établir la propriété relative à l'arc *BC*. Contrairement donc à ce que l'on avait pu croire, le dernier alinéa de cet Autrement n'a aucune raison d'être moins authentique, ou interpolé, que le reste de l'Autrement[15]. Il reste qu'en arabe, au lieu du "cônes", on trouve "perpendiculaires" (*'umud*). Il est vrai que la mention des cônes ne se justifie pas encore – l'étude de ceux-ci va commencer incessamment – et il semble que l'arabe a mieux gardé ici la leçon de l'archétype.

La lecture de G_2 montre donc que l'Autrement est placé là où il ne devrait pas être. De plus, G_2 ne fait intervenir à aucun moment les génératrices, et sa conclusion n'est pas claire. Il indique en effet à la fin du texte que ce qui a lieu dans le plan de base a également lieu dans tout plan parallèle à la base. Or ceci ne permet pas de conclure puisque l'œil est supposé fixe dans le plan de base. Il n'a donc pas donné une démonstration correspondant à l'énoncé, mais il se satisfait de reproduire l'Autrement.

Or, il s'agit ici de bien plus qu'un accident. En effet, dans la proposition suivante – 29 de G_1 – qui examine ce qui se passe quand l'œil se rapproche du cylindre, G_1 et A, en dépit de quelques différences textuelles, adoptent pour les deux positions de l'œil la méthode déjà utilisée dans la proposition 28, alors que G_2 part de l'Autrement, et donne ainsi sa conclusion sans qu'aient été mentionnées les génératrices de contact correspondant aux deux positions considérées pour l'œil. Notons qu'ici A est plus complet que G_1.

Cet examen nous force donc à reconnaître que la différence entre G_1 et G_2 n'est pas de l'ordre de l'exposition – développement ou recension – mais qu'elle porte sur les structures mêmes de ces deux livres. Ceci se manifeste encore, si besoin était, avec un éclat particulier, lors de l'examen d'un dernier exemple, la dernière partie de la proposition 35.

La proposition 35 de l'*Optique* a toujours attiré les faveurs des historiens, en raison de sa présence dans le sixième livre de la *Collection mathématique* de Pappus. On dispose ainsi, une fois n'est pas coutume, d'une source du IVe siècle qui traite de cette proposition. Dans l'*Optique*, il fallait plusieurs lemmes qui occupent une place importante de l'ouvrage pour établir cette proposition. Il serait long et fastidieux d'engager la comparaison pour une partie si volumineuse. Nous ne considérerons donc ici que le premier lemme.

Avant d'entreprendre cette comparaison, il reste à rappeler le contexte, c'est-à-dire le problème optique auquel Euclide se trouve confronté. Ce dernier étudie en effet dans la proposition 34 les angles sous lesquels l'œil *B* voit les diamètres d'un cercle de centre *A*. Il distingue d'abord trois cas :

a) *BA* est perpendiculaire au plan du cercle.

---

[15] Voir Ver Eecke, p. 22, note 1.

b) *BA* n'est pas perpendiculaire à ce plan, mais est égale au rayon du cercle.

Dans ces deux cas, deux diamètres quelconques du cercle apparaissent égaux.

c) *BA* n'est ni perpendiculaire au plan du cercle, ni égale à son rayon ; alors, si les diamètres considérés font des angles égaux avec *BA*, ils apparaissent égaux.

Tels sont les cas étudiés dans la proposition 34.

Tout naturellement, la question se pose ensuite de savoir ce qui se passe quand *BA* n'est ni perpendiculaire au plan du cercle, ni égale au rayon du cercle, et qu'elle ne fait pas d'angles égaux avec les diamètres. C'est précisément à l'examen de cette question qu'a été destinée la proposition 35. Celle-ci vient donc en son heure et en son lieu dans l'*Optique*. Elle est en parfaite continuité avec la proposition 34, et son authenticité ne nous semble soulever aucun doute. Cette continuité est d'ailleurs marquée par le style même de l'énoncé, aussi bien dans G_1 que dans A et K. Voici l'énoncé de G_1 :

> D'autre part, si (ἐὰν δὲ) la droite tombant de l'œil au centre du cercle n'est pas à angles droits sur le plan du cercle, ni égale à la droite issue du centre, et ne comprend pas des angles égaux (μήτε ἴσας γωνίας περιέχουσα), les diamètres avec lesquels cette droite forme des angles inégaux apparaîtront inégaux. [Heiberg, p. 64, *l.* 23-27 ; trad. Ver Eecke, p. 27-28]

Tel qu'il se présente, cet énoncé comporte de toute évidence une omission : on ne sait pas au juste avec quoi la droite "ne comprend pas des angles égaux". Cette omission déjà signalée[16] a son importance ici. Dans G_2 cette phrase est un peu plus complète, puisqu'on lit "et ne comprend pas des angles égaux avec les <droites> issues du centre"[17]. Cette différence entre G_1 et G_2 semble être la trace d'un accident textuel. Il est vrai que A nous donne une autre leçon, qui montre, tout au moins, quelle difficulté a rencontrée le traducteur arabe à cet endroit. Il s'agit d'une phrase d'une dizaine de mots de plus que celles qu'on lit dans G_1 et dans G_2. Voici, dans A, l'énoncé complet de cette même proposition :

> D'autre part, si la droite issue de l'œil au centre du cercle n'est pas à angles droits sur le plan du cercle, ni égale à son demi-diamètre, ni inclinée sur les deux diamètres de sorte que les angles au-dessus soient égaux, c'est-à-dire le petit au petit et le grand au grand (*ḥattā takuna al-zawāyā al-ʿāliyāt mutasāwiya, aʿnī al-ṣughrā li-al-ṣughrā wa al-kubrā li-al-kubrā*), alors les diamètres apparaissent inégaux[18].

Le sens est clair : l'inclinaison de cette droite doit être sur chacun des deux diamètres, avec l'hypothèse que les angles aigus sont inégaux, de

---

[16] Ver Eecke, p. 27, note 1.

[17] Heiberg, p. 202, *l.* 26-27.

[18] Mss I, fol. 67^{r} ; L, fol. 94 ; Q, fol. 76^{v}-77^{v}.

même que les angles obtus. La leçon de A est celle qu'il faudrait retenir, malgré l'évidente difficulté rencontrée par le traducteur.

Notons pour l'heure que dans les trois versions – G_1, G_2, A – auxquelles il faut ajouter K (voir plus loin), on considère le cas d'une droite inclinée qui ne fait pas des angles égaux avec les diamètres, et qui est inégale au rayon. Or on a observé depuis fort longtemps que Pappus, dans la proposition 51 du livre VI de la *Collection mathématique* donne un énoncé équivalent à celui de la proposition 35 de l'*Optique*. Mais l'énoncé présenté par Pappus ne mentionne pas le cas intéressant de cette proposition, lequel sera évoqué seulement à la fin des deux paragraphes du texte[19]. Voici l'énoncé donné par Pappus :

> Si la droite issue de l'œil et tombant sur le centre du cercle n'est ni à angle droit avec le plan <du cercle>, ni égale au rayon mais plus grande ou plus petite, les diamètres du cercle apparaîtront inégaux[20].

On voit bien que Pappus ne mentionne pas le cas où des diamètres apparaissent égaux ; c'est dire que l'énoncé de A est le plus complet de ceux donnés dans les versions de l'*Optique*.

Pour démontrer cette proposition, on l'a fait suivre, aussi bien dans G_1 que dans G_2, de quelques lemmes qui, dans A, sont autant de propositions. Le lemme 35a de G_1 est destiné à établir que l'angle d'une droite avec sa projection sur un plan est le plus petit des angles formés par cette droite et une droite quelconque passant par son pied dans ce plan. Il s'agit donc de montrer, étant donné un point A et une droite AE dans un plan $(\mathscr{P})$, un point B extérieur à ce plan – $B\Gamma \perp (\mathscr{P})$, avec $\Gamma \neq A$, que

$$\widehat{BA\Gamma} < \widehat{BAE}.$$

Dans G_1, on établit au premier paragraphe (voir *infra*) que $B\Gamma \perp (\mathscr{P})$ et $\Gamma Z \perp AE$, ce qui donne $BZ \perp AE$.

Ainsi se trouve appliqué, sans être démontré, le théorème des trois perpendiculaires.

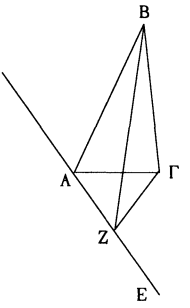
On déduit ensuite de $\widehat{AZ\Gamma} = 1$ droit, l'inégalité

$$A\Gamma > AZ \qquad (1).$$

---

[19] Heiberg, p. 64, *l.* 4-21 ; Ver Eecke, p. 27.

[20] *Pappi Alexlandrini Collectio*, éd. F. Hultsch, 3 vol. (Berlin, 1876), vol. II, p. 568, *l.* 80-83 ; voir aussi Pappus d'Alexandrie, *La collection mathématique*, Œuvre traduite pour la première fois du grec en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke, Nouveau tirage, Tome second (Paris, 1982), p. 446.



Enfin, une fois rappelé que $\widehat{A\Gamma B}$ = 1 droit et $\widehat{AZB}$ = 1 droit, on écrit :

> de sorte que les droites ΓB et BZ sont inégales. En conséquence, l'angle compris sous les droites ZA, AB est lui aussi plus grand que l'angle compris sous les droites ΓA, AB. [Heiberg, p. 68, l. 16-17 ; trad. Ver Eecke, p. 29]

On observe d'une part que dans G_1 on n'a pas précisé que $BZ > B\Gamma$, ce que l'on pouvait déduire de (1) en appliquant le théorème de Pythagore dans les triangles rectangles AGB et AZB ; on n'a pas, d'autre part, justifié l'inégalité

$$\widehat{ZAB} > \widehat{\Gamma AB} \qquad (2),$$

angles appartenant à deux triangles qui ont la même hypoténuse AB, et qui vérifie (1) et $BZ > B\Gamma$.

Or, ce même lemme se retrouve dans G_2 – voir 36a. Dans G_2, il comporte deux sous-lemmes absents de G_1 et de K, que nous notons respectivement 36b et 36c. Ces deux sous-lemmes sont précisément destinés à justifier les propositions et les inégalités non démontrées dans G_1, A et K. Le premier – le 36b – porte sur le théorème dit "des trois perpendiculaires" dont nous avons relevé l'application dans G_1. Or, si l'on a souligné à plusieurs reprises que le même lemme se retrouve dans Pappus, à savoir dans la proposition VI.43 de la *Collection mathématique*, on n'a pas suffisamment insisté, semble-t-il, sur les différences. Dans G_2, la démonstration est classique, à l'aide de l'orthogonalité des droites et des plans, alors que celle de Pappus revient à appliquer le théorème de Pythagore aux triangles $B\Gamma Z$, $B\Gamma A$ et $A\Gamma Z$, rectangles par hypothèse, d'après la définition 3 du Livre X des *Éléments*.

D'autre part, le 36c a pour but de déduire (2) de (1). Dans 36a de G_2, on avait établi (1) dans les triangles rectangles $AB\Gamma$ et ABZ, d'hypoténuse AB, pour tirer ensuite

$$\frac{BA}{AZ} > \frac{BA}{AG},$$

inégalité absente de G_1, mais qu'on trouve dans A. Cette inégalité est alors prise comme hypothèse dans 36c, pour l'établissement de l'inégalité (2). Cette fois encore, deux remarques s'imposent :

1. Dans K, 36a, où le texte ne se distingue pas par sa clarté, on trouve une glose pour cette inégalité.

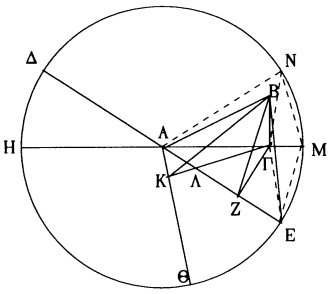
2. Pappus, dans VI.42, toujours pour établir la même inégalité, traite un cas un peu plus général, où les deux triangles rectangles considérés n'ont pas la même hypoténuse. Cette généralité est d'ailleurs un peu superflue puisque Pappus lui-même, de même que dans G_1, G_2, A et K, ne l'applique que dans le cas des hypoténuses égales. En tout cas, les démonstrations de G_2, de Pappus et de la glose de K, diffèrent.

À partir de cette analyse préliminaire, on observe d'une part que, malgré un groupement de G_1 et de A auquel se joint K, on trouve cependant des éléments communs entre A et G_2. Le cas de K est plus difficile cette fois à préciser en raison de l'ambiguïté du texte. D'autre part la présence dans G_2 de deux sous-lemmes pour établir ce qui a été avancé sans être justifié dans la proposition – je dirai dans G_2 seule – soulève pour le moins la question de leur authenticité. Cette question, plus que les autres encore, nous oblige à revenir aux textes eux-mêmes, tout d'abord à celui de G_1[21].

> Soit un cercle dont le centre est le point *A*, soit *B* l'œil d'où la perpendiculaire amenée sur le cercle ne tombe pas sur le centre *A*, mais en dehors de celui-ci, et qu'elle soit *BΓ*. Menons la droite de jonction *AΓ* du point *A* au point *Γ*, et la droite de jonction *AB* du point *A* au point *B*. Je dis que l'angle compris sous les droites *ΓA*, *AB* est le plus petit de tous les angles compris sous les droites qui, menées *transversalement* par le point *A*, forment un angle avec la droite *AB*. Menons une droite *ΔAE par le point* A *; je dis que l'angle compris sous les droites* ΓA, AB *est plus petit que l'angle compris sous les droites* EA, AB. En effet, menons du point *Γ*, dans le plan, la perpendiculaire *ΓZ* sur la droite *ΔE*, et menons la droite de jonction *BZ* ; la droite *BZ* est donc aussi perpendiculaire à la droite *ΔE*. Dès lors, puisque l'angle compris sous les droites *ΓZ*, *ZA* est droit, il s'ensuit que l'angle compris sous les droites *AΓ*, *ΓZ* est plus petit que l'angle droit. [Or, un plus grand côté sous-tend un plus grand angle ;] donc, la droite *AΓ* est plus grande que la droite *AZ*. Mais, l'angle compris sous les droites *AΓ*, *ΓB* et l'angle compris sous les droites *BZ*, *ZA* sont droits ; de sorte que les droites *ΓB*, *BZ* sont inégales. En conséquence, l'angle compris sous les droites *ZA*, *AB* est aussi plus grand que l'angle compris sous les droites *ΓA*, *AB*. On démontrera de la même manière que l'angle compris sous les droites *ΓA*, *AB* est le plus petit de tous les angles compris sous les droites menées *transversalement* par le point *A*, et formant un angle avec la droite *AB*. [Heiberg, p. 66, *l.* 19 p. 68, *l.* 20 ; trad. Ver Eecke, p. 28-29]

---

[21] Les expressions en italique sont absentes de A et de G_2. Les expressions entre [...] sont absentes de G_2 mais se trouvent dans A.



Passons maintenant à A39. L'énoncé du lemme est identique à celui de G_1 et de G_2, à l'exception du mot "transversalement", absent de A. Traduisons donc la démonstration[22] :

> Menons ΔE et menons du point Γ une perpendiculaire ΓZ à la droite ΔE dans ce plan ; joignons BZ ; BZ est donc perpendiculaire à ΔE. Puisque l'angle ΓZA est droit, l'angle $A\Gamma Z$ est plus petit qu'un droit. *Or le plus grand angle intercepte le plus grand côté*, le côté $A\Gamma$ est donc plus grand que le côté AZ. [Donc le rapport de BA à AZ est plus grand que son rapport à $A\Gamma$]. Mais l'angle $A\Gamma B$ et l'angle $\Gamma Z\Delta$ sont inégaux, donc ΓB et BZ sont inégales, et l'angle ZAB qui reste est plus grand que l'angle ΓAB.
>
> *De la même manière, on montre que l'angle ΓAB est plus petit que tous les angles formés sous les droites qui passent par le point A et qui forment des angles avec la droite BA.
>
> Mais le carré de BA est égal aux carrés de $B\Gamma$ et ΓA et <aux carrés de> BZ et ZA, et le carré de BZ est plus grand que le carré de $B\Gamma$; il reste que le carré de ZA est plus petit que le carré de ΓA, donc l'angle $BA\Gamma$ est plus petit que l'angle BAZ, ce qu'il fallait démontrer*. [Mss I, fol. 67^v ; L, fol. 94-95 ; Q, fol. 77^v-78^r]

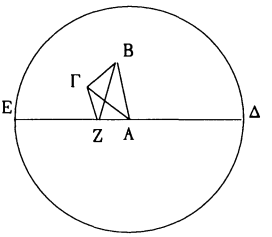
Venons-en enfin au texte de G_2. L'énoncé du lemme est identique à ce qu'on lit dans G_1 et dans A, exception faite d'une phrase : au lieu de "..., forment un angle avec la droite AB" [Heiberg, p. 66, *l.* 25], on trouve "..., et forment des angles égaux avec la droite BA" [Heiberg, p. 204, *l.* 4]. Voici la démonstration :

> En effet, menons transversalement la droite ΔAE ; menons du point Γ, dans le plan, la perpendiculaire ΓZ à la droite ΔE, et menons la droite de jonction BZ. La droite BZ est donc aussi perpendiculaire à la droite ΔE. Dès lors, puisque l'angle compris sous les droites ΓZ, ZA est droit, il s'ensuit que l'angle compris sous les droites $A\Gamma$, ΓZ est plus petit que l'angle droit ; donc, le côté $A\Gamma$ est plus grand que le côté AZ. En conséquence, la droite BA a un rapport plus grand avec la droite AZ qu'avec la droite $A\Gamma$. Mais, l'angle compris sous les droites $A\Gamma$, ΓB et l'angle compris sous les droites BZ, ZA sont droits, et les droites ΓA, AZ sont inégales ; par conséquent, l'angle restant, compris sous les droites ZA, AB, est plus grand que l'angle compris sous les droites ΓA, AB.

---

[22] L'expression en italique se trouve dans G_1 mais non pas dans G_2. Le dernier paragraphe entre *...* est absent de G_1 et de G_2. L'expression entre [...] se trouve dans G_2 mais est absente de G_1.

On démontrera de la même manière que, parmi toutes les droites menées transversalement par le point *A*, et formant des angles avec la droite *AB*, la droite *ΓA* forme le plus petit angle compris sous les droites *ΓA*, *AB*. [Heiberg, p. 204, *l.* 17 - p. 206, *l.* 4 ; trad. Ver Eecke, p. 79-80]



Si maintenant on compare ce texte aux deux premiers, on parvient notamment aux résultats suivants :

1. La phrase : "Je dis que l'angle compris sous les droites *ΓA*, *AB* est plus petit que l'angle compris sous les droites *EA*, *AB*", présente dans G_1, est absente de A et de G_2. Cette absence-ci relève davantage d'une omission d'un ancêtre commun à G_2 et à A que d'un ajout de G_1.

2. La phrase de G_1 : "Or, un plus grand côté sous-tend un plus grand angle" se trouve ainsi rendue dans A : "Or, le plus grand angle intercepte le plus grand côté". Il s'agit en fait d'une phrase-clé destinée à justifier l'inégalité (1), dont l'absence de G_2 indique plutôt une omission dans cette dernière version qu'un ajout dans les deux premières.

3. La phrase de G_2 : "En conséquence, la droite *BA* a un rapport plus grand avec la droite *AZ* qu'avec la droite *AΓ*", se retrouve dans A. Cette inégalité des rapports absente de G_1 est cependant nécessaire pour justifier l'inégalité (2). Nous avons vu que G_2 la prend comme hypothèse pour démontrer cette dernière. C'est plutôt une omission dans G_1 qu'un ajout dans G_2 et dans A.

4. Le dernier paragraphe de A, absent de G_1 et de G_2, semble être interpolé : on part de l'inégalité $BZ > \Gamma B$ pour démontrer à l'aide du théorème de Pythagore l'inégalité (1). Ainsi la conclusion est donnée une deuxième fois. Cette redondance, en fin de proposition, nous semble d'une authenticité douteuse.

5. On a sans doute observé que G_2, contrairement à son habitude, a ici la même littération que G_1 et A.

6. Enfin, nous avons vu aussi que G_2 comporte deux sous-lemmes qui n'apparaissent ni dans G_1, ni dans A, ni dans K, pour justifier des propriétés exposées dans le lemme 1 sans y être alors démontrées. Or ces deux lemmes se retrouvent chez Pappus. On pourrait penser que G_2 les avait empruntés à ce dernier. Cette explication, cependant, ne nous satisfait guère, en raison des différences entre la démonstration de G_2 et celle de Pappus. Mais ceci nous engagerait dans une discussion dont l'objet n'est pas celui de cette présente recherche.

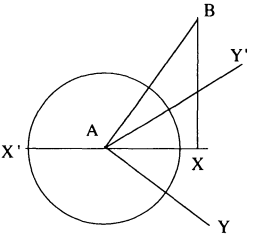
Les divergences et les rapprochements entre les versions sont donc infiniment plus complexes que ce qu'avait laissé apparaître l'alternative "recension-développement". Et ils ne se bornent pas à ce que nous avons relevé. Il n'est pas question de poursuivre ici une comparaison détaillée, longue autant que fastidieuse. Nous évoquerons seulement quelques traits globaux pour le reste de cette proposition 35.

Dans le lemme 35b, on considère une droite AB et sa projection sur le plan d'un cercle de centre A, et on démontre que :

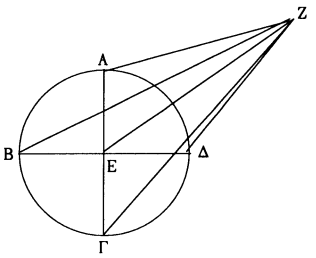
1) Quand une demi-droite AY tourne autour du point A à partir de la position AX ($\widehat{BAX} = \alpha < \frac{\pi}{2}$), l'angle $\widehat{BAY}$ croît de α à $\pi - \alpha = \widehat{BAX'}$ (croissance).

2) Si deux demi-droites AY et AY' sont symétriques par rapport à AX, on a $\widehat{BAY} = \widehat{BAY'}$ (symétrie).

Ce lemme n'est ni dans G_2, ni dans A. Seule la croissance a été évoquée dans K36b, sans toutefois être justifiée. Elle l'a été dans 44b de Pappus, lequel démontre aussi la seconde partie du lemme dans 44c. Notons enfin que dans $G_1$36, on tire un résultat à partir de ce lemme, résultat lui-même absent de toutes les autres versions.



On revient ensuite à la proposition 35 elle-même pour distinguer deux cas, selon que la droite EZ est plus grande ou plus petite que le demi-diamètre. Le premier cas est étudié dans le lemme $G_1$35c, $G_2$36d, A40 et K37a ; et le second dans le lemme $G_1$35d, $G_2$36e, A41 et K37b. L'analyse textuelle comparative, qu'il est hors de question de reproduire ici, révèle des traits analogues à ceux relevés lors de l'examen de 35a.



On observe notamment que G_2, souvent, mais pas toujours, plus brève que G_1 et A, est, dans le cas de la proposition 35 et de ses lemmes (36 d'après la numération de G_2) aussi étendue que ces dernières, sinon plus. Il n'y a donc ni recensement, ni développement. On remarque également que, dans la plupart de ces lemmes, G_2, contrairement à son habitude, partage la même littération que G_1, A et K. On note enfin que, si G_1 et A sont suffisamment proches, il n'en reste pas moins que A et G_2 sont unis par des liens apparents et forts. Ceux-ci vont de l'absence d'un lemme tout entier, le G_135^b, jusqu'aux variantes de tout ordre. Il en est de même de K, indépendant de A, nous le verrons, dans ses rapports avec G_1 et G_2. Autant d'indications qui montrent que la version A de cette proposition remonte à un ancêtre commun à G_1 et au texte retravaillé dans G_2. De même pour K. Relevons pour finir que, malgré leur indépendance, A et K sont assez proches, comme si elles appartenaient à des traditions manuscrites localisées ; mais l'intervention d'al-Kindī dans K interdit cependant d'aller plus avant dans la comparaison. Quant à la situation de G_2, elle est complexe. Sa singularité par rapport aux trois autres versions, plusieurs fois décrite, reflète la combinaison de plusieurs éléments : souvent plus brève que les autres pour indiquer la pratique d'une recension, ce n'est cependant pas toujours le cas : il n'est pas rare que la taille de G_2 dépasse sensiblement celle de G_1. Elle semble d'autre part avoir accès à une source ancienne, comme l'attestent ses liens avec A et K. Elle comprend aussi des textes destinés à établir des propriétés laissées sans justification dans les autres versions, ce qui suggère des ajouts *ad hoc*. Tout laisse penser que G_2 serait une rédaction, un genre hybride, entre recension, copie d'un ancêtre, sans que la recension empêche certaines interpolations. Or, cet ancêtre se montre en filigrane grâce à G_1 sans doute, mais surtout grâce à A, et, à quelque degré, à K. C'est la tâche d'une édition critique de l'*Optique* de mieux préciser les traits de cet archétype.

Toutes ces conclusions ne concernent pas seulement – loin s'en faut – la proposition 35. Celles qui portent sur les rapports entre les différentes traditions textuelles se tirent tout naturellement de l'analyse des propositions qui précèdent cette dernière. L'examen des propositions 36 à 58 qui restent renforce encore – si besoin était – ces conclusions. Pour ne pas allonger l'exposé, nous nous contenterons d'y revenir brièvement lors des commentaires sur la *Rectification* d'al-Kindī.

1.2 *L'indépendance des versions de l'*Optique

L'examen du précédent tableau montre d'une part que l'ordre des propositions des versions arabes diffère de celui de G_1 et de celui de G_2 ; d'autre part, que l'ordre des propositions de K diffère de celui de A, de celui de T et de celui de J ; que, enfin, l'ordre est identique pour les deux dernières versions. C'est dire non seulement que la structure de l'*Optique* varie d'une tradition à l'autre, mais qu'il n'y a aucune raison de privilégier du point de vue de l'ordre l'une des versions aux dépens de l'autre. On ne tarde pas non plus à voir se profiler quelques rudes questions d'authenticité, pour la solution desquelles il faut nécessairement établir le texte de l'*Optique* à partir de toutes les versions : tâche immense, sinon impossible, et qui de toutes façons dépasse de loin le cadre de ce livre. Il nous suffit ici d'avancer quelques remarques, pour confirmer l'indépendance de ces versions prises deux à deux, et donc montrer qu'al-Kindī lisait l'*Optique* dans une traduction autre que celle qui nous est parvenue – A –, et faite selon toute vraisemblance à partir d'un texte grec autre que celui rendu en arabe dans A. Notons avant de nous engager dans ces remarques qu'al-Ṭūsī, dans sa propre rédaction, suit la traduction A, mais qu'il aurait pu avoir accès à une autre source, de nous ignorée, qui comportât les définitions 5 et 6, absentes de A ainsi que de K.

L'indépendance de G_1 et de G_2 est reconnue de tous : il s'agit bien de deux versions différentes. C'est cela, semble-t-il, qui a suggéré à Heiberg d'attribuer G_1 à Euclide et G_2 à Théon d'Alexandrie. À la suite de Heiberg, Ver Eecke écrit très justement, pour introduire la traduction française qu'il donne de ces deux versions :

> Les trois premières propositions [de G_1] sont énoncées chez Théon [G_2] dans les mêmes termes, et démontrées à peu près de la même manière que par Euclide. À la quatrième proposition, dont l'énoncé est encore celui de la proposition originale, la démonstration est déjà différente ; car elle ne fait plus intervenir ni des parallèles ni des triangles semblables. Les différences vont en s'accentuant à partir de la cinquième proposition ; les énoncés deviennent tantôt moins complets, tantôt plus explicites ; les démonstrations, généralement identiques par le fond, affectent une forme plus concise, surtout dans l'exposé des constructions géométriques, et font disparaître ainsi l'ordonnance, la précision et la rigueur des démonstrations originales. D'autre part, les figures sont le plus souvent établies d'une autre manière ; leur littération a changé, et un certain nombre de démonstrations, entièrement nouvelles, sont des variantes que Théon [G_2] ne juxtapose pas, mais substitue aux démonstrations d'Euclide. Ces démonstrations de seconde manière ne sont d'ailleurs pas toujours heureuses. [Ver Eecke, p. XXVII-XXVIII]

Plus généralement, la comparaison proposition à proposition des deux textes, G_1 et G_2, fait ressortir des différences souvent considérables[23].

[23] Sur l'authenticité de ces textes, voir l'introduction de J.L. Heiberg, ainsi que son étude : *Litterargeschichtliche Studien über Euclid*, p. 90 sqq.

Venons-en maintenant à la version A, pour montrer qu'elle est bien indépendante de G_1 et de G_2. Relevons quelques-unes des principales divergences.

1. Alors que G_1 et G_2 commencent chacune par sept définitions ou hypothèses, la version arabe A n'en présente que quatre : on cherchera en vain dans A la cinquième et la sixième définitions, non seulement absentes de l'introduction, mais nulle part évoquées ensuite dans le corps du texte. La septième définition, en revanche, pose un problème textuel intéressant. Dans G_1 et G_2 la quatrième définition s'écrit :

> Et que les grandeurs vues sous un plus grand angle apparaissent plus grandes ; tandis que celles qui sont vues sous un plus petit angle apparaissent plus petites, et que celles qui sont vues sous des angles égaux apparaissent égales. [Heiberg, p. 2, *l.* 10-12 et p. 154, *l.* 13-15 ; trad. Ver Eecke, p. 1 et p. 57]

Dans A, T et J, elle s'écrit de la manière suivante :

> Ce qui est vu sous un grand angle apparaît grand ; tandis que ce qui est vu sous un petit angle apparaît petit, *ce qui est vu sous des angles nombreux apparaît nombreux*, et que les choses vues sous des angles égaux apparaissent égales. [Mss I, fol. 59^v ; L, fol. 81]

La vraie différence entre les deux formulations réside dans l'intercalation de la phrase en italique dans la définition. Mais la septième définition de G_1 et de G_2 s'écrit :

> Enfin, que les grandeurs vues sous des angles plus nombreux paraissent plus distinctement. [Heiberg, p. 2, *l.* 19-20 et p. 154, *l.* 22-23; trad. Ver Eecke, p. 2 et p. 57]

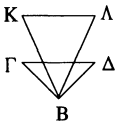
Dans A, la quatrième définition comprend donc la septième définition de G_1 et de G_2, mais modifiée. Or cette présentation, aussi bien que cette modification, se retrouvent dans K[24], version qui, nous le montrerons, dépend d'une autre traduction, laquelle a selon toute vraisemblance été faite à partir d'une autre tradition manuscrite grecque.

À la fin de la seconde proposition, une seconde différence apparaît, liée à la précédente. Euclide y considère deux grandeurs égales et parallèles – $\Gamma\Delta$ et $K\Lambda$ – et veut démontrer que la plus proche de l'œil – $\Gamma\Delta$ – est vue plus distinctement. Il montre donc que $\Gamma\Delta$ est vue sous davantage de rayons visuels que $K\Lambda$, et conclut :

> En conséquence, la grandeur $\Gamma\Delta$ apparaîtra plus distinctement que la grandeur $K\Lambda$; car les grandeurs vues sous des angles plus nombreux apparaissent plus distinctement. [Heiberg, p. 4, *l.* 22-23 ; trad. Ver Eecke, p. 2]

---

[24] Voir *infra*, p. 163, *l.* 18-21.



Cette dernière phrase se présente ainsi dans A :

وما وقع عليه الشعاع أكثر فرؤيته أصدق.

Ce sur quoi tombent plus de rayons, sa visibilité sera plus distincte[25].

Cette comparaison nous laisse face à trois solutions, au moins. La première est d'admettre le texte de G_1, repris par G_2, tel quel. On a alors sept définitions indépendantes. Dans ce cas, nous sommes obligés de considérer les définitions 5 et 6 comme authentiques. Or nous savons qu'elles font défaut à A et à K, non seulement dans l'introduction, mais aussi dans le corps du texte – nulle part en effet on n'y a recours pour établir une proposition. Si l'on revient à G_1 et à G_2, le seul endroit à notre connaissance où ces définitions sont explicitement évoquées est la fin de la proposition 10, où on lit "car les choses vues sous des rayons plus élevés apparaissent plus élevées", qui n'est autre que la cinquième définition. Or cette phrase est absente de la version arabe ; elle ne semble pas être essentielle à la démonstration, et l'authenticité de ces définitions ne va pas sans soulever quelques problèmes. Des deux autres solutions, aucune n'est privilégiée, car on va montrer que chacune des traditions textuelles a sa cohérence. On peut en effet concevoir que la quatrième définition ne comportait pas la phrase mise en italique et que la septième définition aurait été ajoutée pour remédier à ce manque et être en mesure d'établir la seconde proposition : on a alors le texte de G_2 et de G_1. Mais on peut tout aussi bien concevoir la fameuse phrase bien à sa place dans la quatrième définition, la septième définition n'ayant alors pas lieu d'être. On aboutira alors à la présentation de A et de K. Il apparaît donc que, au cours de leur histoire, les traditions textuelles ont organisé leur propre cohérence, ce qui dissuade, dans le cas de l'*Optique*, d'en privilégier absolument une aux dépens des autres.

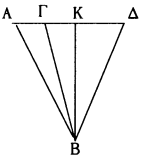
2. Plusieurs propositions figurant dans G_1 et G_2 sont absentes de A ; par exemple, l'Autrement 2 de la proposition 22 de G_1 qui est la proposition 22 de G_2 et l'Autrement de la proposition 42 de G_1, qui est la proposition 43 de G_2, ne figurent pas dans A. De même l'Autrement de 44 de G_1 (proposition 45 de G_2), la proposition 48 de G_1, la proposition 52 de G_1 (proposition 51 de G_2), sont toutes absentes de A.

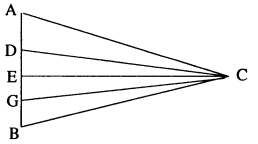
[25] Mss I, fol. 81 ; L, fol. 59^v ; Q fol. 59^r.

Inversement, la proposition 45b de A, absente de G_1, est la proposition 40a de G_2, et la proposition 47 de A, absente de G_1, est la proposition 40c de G_2.

3. Les différences entre les textes de certaines propositions, si, dans la grande majorité des cas, elles n'altèrent pas leur identité, sont si importantes et si nombreuses qu'elles ne peuvent pas être imputées à la traduction. Pour illustrer ces différences, prenons un exemple ordinaire, c'est-à-dire avec le moindre écart entre le grec et l'arabe, et où le texte de G_1 et celui de G_2 sont identiques. Pour des raisons d'économie – nous reviendrons à cet exemple plus tard – considérons la première proposition, qui s'écrit :

> Aucune des choses vues n'est vue en même temps tout entière. Soit en effet *AΔ* quelque chose qu'on voit, et soit *B* l'œil, d'où tombent les rayons visuels *BA*, *BΓ BK*, *BΔ*. Donc, puisque les rayons visuels qui tombent sont menés à intervalle [c'est-à-dire à divergence], ils pourraient bien tomber sur *AΔ* sans être contigus, de sorte qu'il y aurait sur *AΔ* des intervalles sur lesquels les rayons visuels ne tombent pas. Ainsi donc *AΔ* ne sera pas vue en même temps tout entière. Mais on a l'impression qu'elle est vue en même temps, du fait que les rayons visuels sont conduits rapidement. [Heiberg, p. 2, *l.* 22 - p. 4, *l.* 8 et p. 156, *l.* 2-10]





Voici la traduction de la version arabe A :

> Aucune chose parmi celles qu'on voit n'est vue tout entière en même temps.
>
> *Exemple* : Soit la ligne *AB* ce qu'on voit, je dis que la ligne *AB* ne peut être vue tout entière en même temps.
>
> *Démonstration* : Posons l'œil le point *C* et menons les rayons *CA*, *CD*, *CE*, *CG* et *CB*. Le rayon *CA* tombe donc avant le rayon *CD*, le rayon *CD* tombe avant le rayon *CE*, *CE* avant *CG* et *CG* avant *CB*. La grandeur *AD* est donc <vue> avant la grandeur *DE*.
>
> Aucune chose parmi celles qu'on voit n'est donc vue tout entière en même temps, alors qu'on imagine qu'on la voit tout entière en même temps, en raison de la rapidité du regard (*li-surʿat lamḥ al-baṣar*). Ce qu'il fallait démontrer. [Mss I, fol. 81 ; L, fol. 59^{v} ; Q fol. 59^{r}]

Entre les deux textes, on observe d'abord une différence formelle : alors que A conserve la forme d'exposé des propositions géométriques, G_1 et G_2 ne le font pas. À la lecture, une seconde différence entre les deux textes, bien plus importante, se fait sentir : A comprend une tentative de démonstration, absente de G_1 et de G_2. Dans toutes les versions, en effet, l'explication s'appuie sur la définition des rayons visuels qui divergent à partir de l'œil et ne tombent pas d'une manière contiguë, et invoque le

déplacement rapide des rayons pour rendre compte de cette impression que la totalité de la grandeur est vue simultanément ; mais seule A, pour pouvoir établir géométriquement cette proposition, formule l'hypothèse selon laquelle les rayons tombent l'un après l'autre, et dans l'ordre. Or, si l'on ôte cet argument, on ne peut plus parler de démonstration géométrique.

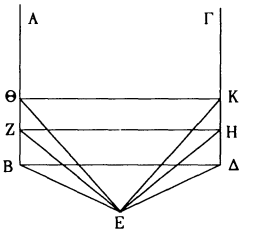
On notera que, sur ce point, K confirme A. Al-Kindī en effet, après avoir sévèrement critiqué Euclide, cite ce dernier et écrit :

> Euclide avait dit dans la première de ses propositions : aucune chose parmi celles qu'on voit n'est vue tout entière en même temps, mais la vue se déplace d'une chose à une autre ; on croit alors, en raison de la rapidité du déplacement, qu'on la voit tout entière en même temps[26].

4. Il est aisé de multiplier les exemples pour montrer l'indépendance de A et sa position textuelle par rapport à G_1 et G_2. Nous ajouterons simplement ici quelques faits marquants. La proposition 28 de G_1, nous l'avons vu, est suivie par une seconde démonstration, un Autrement, soit 28a. Or G_2 ne comprend pas la proposition 28, mais seulement la 28a à sa place. En revanche, A contient la proposition 28 aussi bien que la 28a. De même, les propositions 37a, 46, entre autres, absentes de G_2, figurent dans A ; alors que l'Autrement 1 de la proposition 22 de G_1 est absente à la fois de G_2 et de A.

Autant d'indices qui confirment sans aucun doute que A n'est pas la traduction de la version dont dépend G_1, pas plus que la traduction de celle dont dérive G_2. Ils attestent aussi que A est tantôt plus proche de G_1, tantôt plus proche de G_2, ce qui renforce à nouveau son indépendance à l'égard des deux versions. Que A soit parfois plus proche de G_2, cela est manifeste dans plusieurs cas. Nous en avons déjà analysé certains ; prenons un autre exemple, celui de la proposition 6 de G_1.

Celle-ci se compose de deux parties. Dans *A*, *K*, *T*, ces deux parties se présentent comme deux propositions successives, 6 et 7. Nous considérerons la première partie seulement. On lit dans G_1 :



> Les droites parallèles, vues à distance, paraissent de latitude inégale. Soient *AB*, *ΓΔ*, deux grandeurs parallèles, et soit *E* l'œil ; je dis que les grandeurs *AB*, *ΓΔ* paraissent de latitude inégale, et que la latitude plus rapprochée paraît toujours plus grande que celle qui est plus éloignée. Menons les rayons *EB*,

[26] Voir *infra*, p. 165, *l.* 1-3.

EZ, *EΘ*, *EΔ*, *EH*, *EK*, et menons les droites de jonction *BΔ*, *ZH*, *ΘK*. Puisque l'angle *BEΔ* est plus grand que l'angle *ZEH*, il s'ensuit que la droite *BΔ* paraît aussi plus grande que la droite *ZH* *. Puisque l'angle *ZEH* est plus grand que l'angle *ΘEK*, la droite *ZH* paraît donc aussi plus grande que la droite *ΘK*. En conséquence, la latitude *BΔ* paraît plus grande que la latitude *ZH*, et la latitude *ZH* plus grande que la latitude *ΘK* ; donc, des droites qui sont parallèles ne seront pas vues de latitude égale, mais inégale. [Heiberg, p. 8, *l.* 18 - p. 10, *l.* 5 ; trad. Ver Eecke, p. 4]

Si à présent on compare ce texte à celui qui lui correspond dans G_2, on remarque, outre quelques différences d'expressions et le changement des lettres, une différence particulièrement importante. Celle-ci revient, dans le texte précédent (compte tenu du changement de notation), à récrire à partir de * :

De même la droite *ZH* paraît donc aussi plus grande que la droite *ΘK*. En conséquence, les droites ne seront plus vues parallèles, mais de latitude allant en diminuant, et inégales ; les droites parallèles, vues à distance, paraissent donc de latitude inégale. [Heiberg, p. 160, *l.* 18-22 ; trad. Ver Eecke, p. 60]

Si on revient à la version A, on constate qu'elle est à la fois différente de G_1 et de G_2, mais qu'elle est plus proche de G_2. Voici sa traduction :

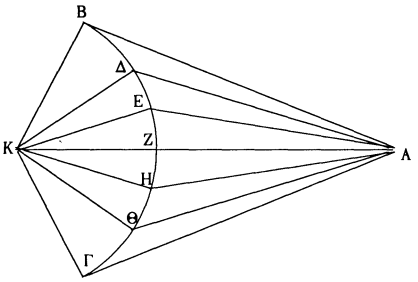
Les droites parallèles sont vues à distance de latitude inégale.
Exemple : Soient *AB*, *ΓΔ*, deux parallèles ; et soit l'œil *E*. Je dis que les latitudes entre *AB* et *ΓΔ* sont vues inégales, et que la latitude la plus proche de l'œil est vue plus grande.
Démonstration : Menons les rayons *EB*, *EZ*, *EΘ*, *EΔ*, *EH*, et joignons les droites de la latitude *BΔ*, *ZH*, *ΘK* ; l'angle *BEΔ* est donc plus grand que l'angle *ZEH*, et il s'ensuit que la droite *BΔ* sera vue plus grande que la droite *ZH*. De même, la droite *ZH* sera vue plus grande que la droite *ΘK*, donc les droites de la latitude entre les deux droites *AB* et *ΓΔ* seront vues inégales. [Mss I, fol. 60^{r}; L, fol. 82 ; Q, fol. 60^{r-v}]

L'exemple de cette sixième proposition nous montre que, sans être identiques, G_2 et A sont cependant dans ce cas assez proches, alors que beaucoup d'autres exemples confirment que ces deux versions sont bel et bien indépendantes. L'un des plus significatifs à cet égard est la proposition $G_1$22. Il s'agit de montrer que si l'œil est dans le plan d'un arc de cercle, celui-ci paraît être une ligne droite.

Pour cette proposition, le texte de A est très voisin de celui de G_1, et la seule différence notable réside dans une phrase peu claire, ainsi que dans la présence de deux Autrements dans G_1. Par les problèmes textuels qu'il pose, cet exemple mérite que l'on s'y arrête. Euclide veut montrer que, si l'œil *A* est dans le plan d'un arc *BΓ*, alors celui-ci paraît être une droite.

Que l'œil *A* soit sur la médiatrice de la corde *BΓ*, ce que, implicitement, le texte semble supposer. Soit *K* le centre du cercle. Les rayons *KB*, *KΔ*, *KE* sont vus respectivement à partir de *A* sous les angles *KAB*, *KAΔ* et *KAE*; donc *KB* apparaît plus grand que *KΔ*, *KΔ* apparaît

plus grand que *KE* et *KE* plus grand que *KZ*. De même *KΓ* apparaît plus grand que *KΘ*, *KΘ* plus grand que *KH* et *KH* plus grand que *KZ*.



Le texte se poursuit, sans autre explication : διὰ τοῦτο δὴ τῆς μενούσης εὐθείας τῆς ΚΑ κάθετος ἡ ΒΓ ἀεί ἐστιν", que P. Ver Eecke rend ainsi: "Dès lors, c'est à cause de cela que, la droite *KA* restant fixe, l'arc *BΓ* lui est toujours perpendiculaire"[27]. Dans A, on lit :

فمن أجل ذلك تفنى قوس ب جـ <و>يكون خط ب جـ قاعدة لعمود ا ز ك.

Ainsi, c'est pour cela que l'arc *BΓ* disparaît et que la droite *BΓ* sera une base de la perpendiculaire *AZK*. [Ms L, fol. 88]

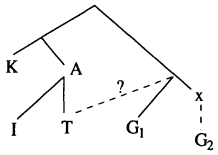
La phrase, en grec comme en arabe, est corrompue. La version arabe rend manifestement un meilleur texte grec, même si elle ne contient pas plus que ce dernier de preuve de l'assertion énoncée. C'est, sans doute, confronté à cette difficulté que l'on a par deux fois tenté de donner une démonstration. Deux Autrements suivent la proposition dans G_1. Dans A, aucun d'eux ne suit la proposition. Quant à G_2, il ne retient que le second Autrement : la proposition ainsi que le premier Autrement sont absents.

5. Notons enfin que la citation dans la proposition 19 de G_1 de l'expression "comme il est dit dans les *Catoptriques*"–"ὡς ἐν τοῖς Κατοπτρικοῖς λέγεται"[28], reprise dans G_2 : "car cela est démontré dans les *Catoptriques*" – "τοῦτο γὰρ δείκνυται ἐν τοῖς Κατοπτρικοῖς"[29], est absente de A, de K, de T et de J. Or ces expressions, on le sait, sont de toute évidence, interpolées.

À tout prendre, les précédents arguments, joints à bien d'autres que nous ne mentionnons pas pour éviter d'alourdir l'exposé, montrent que A diffère de G_1 et de G_2, eux-mêmes distincts l'un de l'autre, et que K diffère de G_1 et de G_2.

---

[27] Heiberg, p. 34, *l.* 16-17 ; trad. Ver Eecke, p. 16.
[28] Heiberg, p. 30, *l.* 3 ; trad. Ver Eecke, p. 13.
[29] Heiberg, p. 176, *l.* 18-19 ; trad. Ver Eecke, p. 67.



La lecture de la *Rectification* ne tardera pas à corroborer ces remarques, et à convaincre qu'al-Kindī disposait d'une traduction de l'*Optique* dans une version différente non seulement de G_1 et de G_2, mais aussi de A.

1.3 *La version de l'*Optique *consultée par al-Kindī et la traduction arabe conservée*

Le moment est venu à présent d'examiner les rapports entre A et la traduction lue et commentée par al-Kindī. Cette fois, nous nous heurtons à une double difficulté, insurmontable en l'état actuel de nos informations. La traduction A dresse le premier obstacle. L'absence de la traduction lue par al-Kindī, et dont nous devons établir l'existence, engendre une seconde difficulté. Sur la version A, nous savons très peu : elle attend encore non seulement d'être étudiée comme elle le mérite, mais même d'être établie de manière critique. Rien ne permet en tous cas d'affirmer comme certains érudits que cette traduction revenait au célèbre Isḥāq ibn Ḥunayn, et qu'elle avait été révisée par Thābit ibn Qurra. Aucune source biobibliographique ancienne, en effet, n'autorise une telle hypothèse. L'un des manuscrits de la version A semble même mentionner le nom de "Khalīl ibn Sarjūn" comme l'auteur de cette traduction[30] ; nous savons d'autre part que cette dernière a été achevée avant 893, date du début de la rédaction de la célèbre *Histoire* d'al-Yaʿqūbī[31]. Ce dernier écrit en effet :

> Euclide a un livre sur les perspectives et leur diversité à partir des issues des yeux et des rayons (*Kitāb fī al-manāẓir wa ikhtilāfihā min makhārij al-ʿuyūn wa al-shuʿāʿ*) dans lequel il dit : Les rayons émanent de l'œil suivant des lignes droites par lesquelles ils engendrent des directions en nombre infini. Les choses sur lesquelles tombent les rayons sont vues, et celles sur lesquelles ils ne tombent pas ne sont pas vues[32].

---

[30] Pour l'attribution à Ḥunayn, voir M. Steinschneider, *Die arabischen Übersetzungen aus dem griechischen* (Graz, 1960), § 92, p. 171 (163). La mention d'"Ibn Sarjūn" est rapportée par E. Kheirandish, "The Arabic 'Version'" of Euclidean Optics: Transformations as Linguistic Problems in Transmission", dans *Tradition, Transmission, Transformation*, Proceedings of two conferences on pre-modern science held at the University of Oklahoma, éd. F. Jamil Ragep et Sally R. Ragep (Leiden, 1996), p. 229, n. 8 (nous n'avons pas eu ce manuscrit entre les mains).

[31] Voir Kaḥḥāla, *Muʿjam al-muʾallifīn*, vol. I (Beyrouth, s.d.), p. 161 ; Yāqūt, *Muʿjam al-udabāʾ*, vol. V (Beyrouth, s.d.), p. 154.

[32] *Tārīkh al-Yaʿqūbī* (Beyrouth, 1992), p. 123.

Al-Yaʿqūbī poursuit et affirme que ce livre est de "soixante-quatre propositions"[33]. Ce témoignage de l'historien du IXe siècle est bien connu, mais on n'a pas relevé qu'al-Yaʿqūbī se réfère ici à la traduction A. En effet, ce sont la première et la troisième définitions d'Euclide, d'après cette traduction, qu'il cite, en omettant une expression. On peut lire dans A [Mss I, fol. 81 ; L, fol. 59^{v}] :

إن الشعاع يخرج من العين على خطوط مستقيمة مختلفة الأبعاد والمقادير وتحدث به سموت مستقيمة لا نهاية لكثرتها.

Seule l'expression en italique, "de distances et de grandeurs différentes" manque à la citation d'al-Yaʿqūbī. Quant à la troisième définition, elle est identique à celle que donne A. Enfin, la version A est de 64 propositions exactement, à la différence de G_1 et de G_2 qui n'en comportent respectivement que 58 et 57, tandis que, selon al-Kindī, la version qu'il a lue et commentée serait de 59 propositions. L'année 893 est donc bien le *terminus ante quem* de la traduction A. Ce nouvel élément vient resserrer les dates des versions arabes, et complique encore davantage la question de leur nombre et de leurs auteurs. Ceci n'a d'ailleurs rien d'exceptionnel : il arrivait qu'un même livre soit traduit plus d'une fois dans un laps de temps relativement court – que l'on pense par exemple au cas de l'*Almageste*.

Venons-en à présent à K, et aux différences entre elle et A. On sait déjà que, si K a existé, l'ordre et le nombre des propositions n'y sont pas les mêmes que dans A. Pour montrer son existence, on aura recours à plusieurs groupes d'indices. Mais nul n'ignore que cette question de l'existence de textes perdus est des plus scabreuses qui s'offrent à l'historien. Nombre d'arguments peuvent être avancés, dont aucun ne suffit à emporter la conviction, et le problème revient alors à démontrer que ces arguments convergent. Mais le résultat atteint demeurera toujours un gage de la recherche future. C'est donc en connaissance de cause que nous proposons les arguments suivants.

Le premier est de nature lexicale : il suffit de confronter les deux textes A et la *Rectification* pour percevoir rapidement les différences entre leur vocabulaire. Certaines sont caractéristiques ; bien plus, elles distinguent al-Kindī et Ibn Lūqā de A, comme si ces deux contemporains avaient sous les yeux cette version K, et non pas A. Dans A, on parle de "rayon qui émane", ou "issu" (*yakhruj*) de l'œil, alors qu'Ibn Lūqā et al-Kindī utilisent pour rendre la définition d'Euclide les termes "se propage", "se disperse", ou encore "émerge en se dispersant" (*yanbathth*), expression peu courante dans les textes plus tardifs d'optique. De même, alors que dans A, comme dans la traduction des livres de géométrie, le sommet du cône est dit "tête" (*raʾs*), Ibn Lūqā et al-Kindī, dans le même contexte, le désignent par "la partie aiguisée" (*mustaḥadd*), terme lui aussi

[33] *Ibid.*, p. 123.

exceptionnel. D'autre part, en bien des endroits où A utilise *ẓahara* (apparaître), *al-baṣar* (la vue), al-Kindī a recours à *ra'ā* (voir), et *al-nāẓir* (la pupille). Ces quelques exemples, entre autres, sont empruntés aux définitions, dans lesquelles Ibn Lūqā et al-Kindī reproduisent le texte d'Euclide.

La différence entre les deux lexiques ne porte pas seulement sur les termes, mais aussi sur les expressions. Reprenons un exemple déjà évoqué pour pouvoir faire la comparaison, soit la première proposition de l'*Optique*.

On lit dans A :

فليس شيء من المبصرات يبصر جميعًا معًا وقد يتوهم يبصر جميعًا <معًا> لسرعة لمح البصر.

Aucune chose parmi celles qu'on voit n'est donc vue tout entière en même temps, alors qu'on imagine qu'on la voit tout entière en même temps en raison de la rapidité du regard[34].

La même phrase figure dans la *Rectification* :

إنه ليس شيء من المبصرات يبصر جميعًا معًا، وإن البصر ينتقل من شيء إلى شيء، فيظنّ لسرعة انتقاله أنه يرى <جميعًا> معًا.

Aucune chose parmi celles qu'on voit n'est vue tout entière en même temps, mais la vue se déplace d'une chose à l'autre ; on croit alors, en raison de la rapidité de son déplacement, qu'on la voit tout entière en même temps.

On note que la première partie de la phrase est identique, traduction du grec : Οὐδὲν τῶν ὁρωμένων ἅμα ὅλον ὁρᾶται [Heiberg, p. 2, *l.* 22]. Dans la seconde partie de la phrase, on a *ẓanna* (croire), au lieu de *tawahhama* (imaginer) pour rendre δοκεῖ, *yurā* au lieu de *yubṣar* pour rendre ὁρᾶσθαι, *intiqālihi* au lieu de *lamḥ al-baṣar* pour rendre παραφερομένων. Cette dernière substitution est particulièrement importante pour deux raisons : d'une part, chez al-Kindī, il s'agit de la vitesse du regard, alors que dans A, le regard, ou plus exactement "le regard lancé", est une expression idiomatique, dont il serait surprenant qu'al-Kindī, après l'avoir trouvée à sa disposition dans la traduction, l'eût abandonnée par inadvertance.

Le deuxième argument en faveur de l'existence de deux versions historiques différentes repose sur la présence dans la *Rectification* de propositions absentes de A, et inversement. Considérons par exemple la proposition 34 de G_1. Euclide veut démontrer que :

Si on élève, du centre d'un cercle, une droite perpendiculaire au plan de ce cercle, et si on place l'œil sur celle-ci, les diamètres menés transversalement dans le plan du cercle apparaîtront tous égaux. [Heiberg, p. 60, *l.* 12-15 ; Ver Eecke, p. 26]

[34] Mss I, fol. 81 ; L, fol. 59^{v} ; Q fol. 59^{r}.

En fait, dans G_1, la proposition d'Euclide se décompose en trois parties : 34a, où l'œil est placé sur la perpendiculaire ; 34b où l'œil ne se trouve pas sur la perpendiculaire, mais sur une droite menée du centre, égale au rayon ; et enfin 34c, lorsque l'œil se trouve sur une droite quelconque. Dans A, 34a et 34b correspondent respectivement à 36 et 37, alors que 34c n'a pas de correspondant. Cette absence est encore confirmée par les rédactions d'al-Ṭūsī et d'Ibn Abī Jarrāda, qui elles aussi dépendent de A. Dans la rédaction d'al-Kindī, les trois cas sont présents, et les propositions 34a, 34b et 34c de G_1 correspondent respectivement aux propositions 33, 34 et 35a de la *Rectification*. De plus, pour la proposition 34b de G_1, qui correspond à la proposition 37 de A et à la proposition 34 de la *Rectification*, on suppose dans A les deux diamètres perpendiculaires. Cette condition, qui n'est pas nécessaire, est absente de G_1 et de K. Ceci montre, au minimum, que A ne pouvait être la seule source de la *Rectification*, et qu'il existe une autre version arabe de l'*Optique*.

Réciproquement, on rencontre dans A des propositions qui ne figurent pas chez al-Kindī, sans que leur absence soit due à un accident de la copie du manuscrit de la *Rectification* que nous avons. Il ne s'agit pas, non plus, d'une omission délibérée d'al-Kindī dans la mesure où celui-ci, nous l'avons observé, commente exhaustivement et dans l'ordre l'*Optique*[35]. Ainsi, la proposition 42b de G_1 – la cinquantième de A – ne se trouve pas dans la *Rectification*. Il en est de même pour l'Autrement de la proposition 28 de G_1, qui est la trentième proposition de A.

À cela, on peut ajouter bien d'autres arguments qui prouvent tous l'indépendance réciproque de K et de A. Nous en retiendrons brièvement trois.

Le premier s'appuie sur une importante différence entre les textes : alors que l'on montre aisément que le texte que donne A de la proposition 18 – c'est-à-dire de la proposition 17 de G_1 – est corrompu, on établit qu'al-Kindī dans la proposition 18 commente bien un texte correct.

Le second se fonde sur la présence d'une proposition qui devait figurer originairement dans K et qui ne se trouve dans aucune version existante. En effet, dans la proposition 50 de la *Rectification*, al-Kindī commente une proposition de l'*Optique*. Il écrit : "Euclide a supposé que les deux grandeurs sont les deux grandeurs *AB* et *BC* sur une même droite ..."[36]. Ce commentaire ne porte pas, semble-t-il, sur les propositions précédentes.

---

[35] Al-Kindī lui-même ne manque pas de souligner ce trait de son commentaire lorsqu'il écrit à propos de la prop. 28 de l'*Optique* qu'elle se ramène à la prop. 24 de ce même livre, et cependant il la reprend "pour qu'aucune des propositions de son [Euclide] livre ne soit délaissée (*li-allā yatakhallaf 'an kitābihi ['an kitāb Uqlīdis] shay' min ashkālihi*)". Il reprend mot pour mot cette même expression plus loin lorsqu'il écrit "pour ne délaisser aucune proposition de son livre sans la vérifier (*li-allā yatakhallaf min kitābihi shakl ya'dam taḥqīquhu*)".

[36] Voir *infra*, p. 309, *l.* 4-5.

Enfin, l'énoncé de la dixième proposition de la *Rectification*, qui reproduit l'énoncé 9 de G_1 diffère de l'énoncé de la même proposition dans A. Nous en discutons plus loin.

Si donc l'existence d'une version arabe autre que A, lue et commentée par al-Kindī, ne soulève pas le moindre doute, la comparaison de ces deux versions, A et K, par l'intermédiaire de la *Rectification*, ainsi que la confrontation de cette version K avec G_1 et G_2, montre que celle-ci a été rendue en arabe à partir d'un manuscrit grec qui appartenait à une tradition indépendante.

Notons enfin que l'ordre des propositions est identique dans A et dans K jusqu'à la proposition 28 de G_1 et diffère ensuite. Cette identité, manifeste non seulement dans le tableau, est confirmée par al-Kindī lui-même. Celui-ci rappelle précisément au cours de la proposition 28, les numéros des propositions 28 et 24 de l'*Optique* d'Euclide, numéros identiques dans A. Ceci montre d'ailleurs que dans les deux versions manuscrites grecques dont ces deux traductions dépendent, la proposition 6 de G_1 correspondait à deux propositions, ce qui semble convenir à l'esprit du texte.

1.4 *Al-Kindī et le prologue à l'*Optique *attribué à Théon d'Alexandrie*

Tout ceci nous oblige à reconsidérer les rapports entre al-Kindī et l'auteur de ce fameux prologue à la version G_2 de l'*Optique*, attribué à Théon ou à l'un de ses disciples. Dès lors en effet qu'on renonce à attribuer la version G_2 à Théon, les raisons ordinairement invoquées pour soupçonner une lecture d'Euclide médiée par celle de ladite version s'évanouissent. Rien d'étonnant dans ce cas si al-Kindī ne semble nulle part s'inspirer, comme il pouvait le faire, d'un commentaire au sens classique. Cette argumentation qui, avouons-le, est négative, nous aurait permis de nous en tenir là, en attendant le jour faste qui nous aurait éclairés sur l'auteur du Prologue, si al-Kindī n'avait lui-même cité Théon dans la *Rectification*. Si à cela on ajoute qu'il a lu attentivement, comme nous allons le montrer, le préambule conservé par la tradition manuscrite grecque et placé par cette dernière juste avant le texte de la version G_2, force est de reconnaître que ce problème d'un éventuel commentaire de l'*Optique* par Théon ressurgit, alors qu'on le croyait déjà réglé. Dans la *Rectification*, une fois critiquée la conception euclidienne du cône visuel, al-Kindī écrit :

> Les éminents anciens mathématiciens s'accordent avec nous en cela, car pour ceux qui suivent la voie la plus directe vers un même but à partir d'un même commencement, le dernier suit nécessairement les pas du premier avant que ce dernier connaisse l'action du premier ; parmi eux, Ptolémée, qui est parvenu à la perfection en mathématiques et qui utilise dans ses conditions et dans ses démonstrations, les conditions et les démonstrations philosophiques dans les

mathématiques ; et celui qui a suivi ses pas et qui est également distingué en mathématiques, Théon d'Alexandrie[37].

Par cette déclaration générale, al-Kindī attribue en particulier à Théon une conception du cône visuel inspirée de celle de Ptolémée, et non pas de celle d'Euclide ; il ne nous livre cependant pas sa source, et la seule certitude que nous ayons à cet égard est qu'il n'a pas eu accès à l'*Optique* de Ptolémée. Or, ici comme plus loin, on rencontre chez al-Kindī des conceptions d'inspiration ptoléméenne, comme par exemple celle de l'axe visuel. Toute la question est donc de savoir comment al-Kindī a pu avoir accès à ces conceptions, comment il a pu connaître ce préambule d'allure non-euclidienne, et pourquoi il cite Théon dans ce contexte.

On peut en tout cas affirmer qu'al-Kindī a eu entre les mains une source différente de l'écrit de Damien, et dont l'auteur aurait été Théon ou quelqu'un qui le cite, source qui porte sur l'*Optique* d'Euclide en y intégrant quelques conceptions de Ptolémée : cône visuel, axe visuel ... C'est peut-être à cette source qu'al-Kindī aurait recueilli une version du célèbre préambule. Voici la liste des passages du *De aspectibus* qu'il a repris, dont l'origine est la moins discutable, et qui suffisent à établir l'existence de cette source pour l'heure disparue :

Théon (?), p. 144, *l.* 3-8 Heiberg	*Al-Kindī, De aspectibus*, p. 441, *l.* 29-34
σημεῖον δὲ τούτου μέγιστον τάς τε ἀπὸ τῶν σωμάτων ἀπορριπτουμένας σκιὰς καὶ τὰς ἀπὸ τῶν θυρίδων τε καὶ ὀπῶν φερομένας αὐγὰς *κομίζει*. ἕκαστον δὲ τούτων οὐκ ἂν ἐγίγνετο, καθάπερ νῦν θεωρεῖται γιγνόμενον, εἴπερ μὴ αἱ ἀπὸ τοῦ ἡλίου φερόμεναι ἀκτῖνες κατά τινας εὐθείας ἐφέροντο.	Quod uero uidemus ex rectitudine finium umbrarum corporum in latitudine et luminibus per fenestras ingredientibus, necessario ducit nos ad hoc ut transitus radiorum procedentium a corporibus luminosis fiat secundum rectitudinem rectarum linearum. Nihil enim horum duorum esset secundum quod sentimus, nisi radii secundum rectarum linearum rectitudinem procederent.
Et il en fournit comme preuve la plus importante les ombres projetées par les corps, ainsi que les traits lumineux introduits par les fenêtres et par les ouvertures ; car toutes ces choses n'auraient pas lieu comme on observe qu'elles se produisent en réalité, si les rayons du soleil ne se propageaient pas suivant certaines lignes droites.	Quand nous voyons que les limites en étendue des ombres des corps sont rectilignes, et quand nous voyons les lumières qui entrent par des ouvertures, nous sommes nécessairement amenés à <conclure> que le trajet des rayons provenant des corps lumineux est rectiligne. Car ces deux faits ne seraient pas tels que nous les percevons si les rayons ne suivaient pas des lignes droites.

[37] Voir infra, p. 173, *l.* 20-25.

Théon (?), p. 144, *l.* 8-13 Heiberg

ἐπί τε τῶν παρ' ἡμῖν πυρῶν τὰς ἀποστελλομένας ἔφασκεν αὐγὰς αἰτίας εἶναι τοῦ τε φωτίζεσθαί τινα τῶν παρακειμένων σωμάτων καὶ ἀπορρίπτειν σκιὰς τὰς μὲν ἴσας τοῖς ὑποκειμένοις σώμασι, τὰς δὲ μείζονας, τὰς δὲ ἐλάσσονας τῶν ὑποκειμένων σωμάτων.

Et quant aux feux qui existent chez nous, *il disait* que les traits lumineux émis étaient causes de ce que certains corps exposés fussent éclairés et projetassent des ombres tantôt égales aux corps soumis, tantôt plus grandes et tantôt plus petites qu'eux.

Al-Kindī, De aspectibus, p. 441, *l.* 38-42

Videmus enim radios procedentes a candelis, que coram nobis ponuntur, causas illuminandi corpora eis opposita et iaciendi illorum corporum umbras existere. Quorum quidem umbre quandoque corporibus existunt equales quandoque maiores quandoque eis minores.

Nous voyons en effet que les rayons qui partent de chandelles placées devant nous sont les causes de l'éclairement des corps placés en face d'elles et de la projection des ombres de ces corps. Et les ombres de ces corps tantôt leur sont égales, tantôt sont plus grandes qu'eux, tantôt plus petites.

Théon (?), p. 146, *l.* 6-17 Heiberg

ἐκφανέστατα δὲ τούτων πάντων τοῦτο ἐπὶ τῶν κατασκευαστῶς γινομένων θεωρεῖσθαι συμβαίνει. λύχνου γὰρ ὁπωσδηποτοῦν κειμένου εἰ προστεθείη τούτῳ πτυχίον ἔχον ἐπιτομὴν λεπτοῦ πριονίου, ὥστε καὶ τὴν ἐπιτομὴν κατὰ μέσου τοῦ λύχνου πίπτειν, τῷ δὲ πτυχίῳ τούτῳ κατὰ τὰ ἕτερα μέρη παρατεθείη πτυχίον ἔγγιον, ᾧ προσπεσεῖται ἡ αὐγὴ ἡ διὰ τῆς ἐντομῆς φερομένη, πάντως τὴν προσπίπτουσαν αὐγὴν τῷ πτυχίῳ εὐθείαις γραμμαῖς περιεχομένην εὑρήσομεν καὶ τὴν ἐπιζευγνύουσαν τό τε μέσον τοῦ λύχνου καὶ τὴν ἐντομὴν τοῦ πτυχίου κατὰ τὴν αὐτὴν εὐθεῖαν οὖσαν.

Al-Kindī, De aspectibus, p. 449, *l.* 25 - 451, *l.* 13

Hoc quoque manifestius et clarius uidebimus, si tabulam assumpserimus in medio cum serra directe et equaliter perforatam, et occurrerimus deinde cum medio foraminis serrati medio candele, donec sit linea, que protrahitur a candela, secans diametrum candele et foramen serratum orthogonaliter, et post occurramus tabule, in qua est foramen, cum alia tabula, cuius superficies, que ei occurrit, equidistet superficiei eius que ipsi occurrit.

Si ergo ab extremitate luminis, quod cadit per foramen tabule super tabulam aliam ei equidistantem, in latitudine protrahatur ab una duarum partium ad finem candele in latitudine in parte altera linea recta, continget extremitatem foraminis quod est in tabula. Quod quidem non esset nisi radiorum fines secundum rectas procederent lineas.

D'ailleurs, tous ces faits s'observent de la façon la plus manifeste dans des conditions que l'on obtient artificiellement. Une lampe étant disposée de n'importe quelle manière, si l'on place face à elle une planchette munie d'une fente effectuée à l'aide d'une scie mince de telle sorte que la fente tombe selon le milieu de la lampe, et si de l'autre côté de cette planche on place une planche à distance relativement rapprochée, sur laquelle tombera le trait lumineux passant par la fente, nous découvrirons bel et bien que le trait lumineux tombant sur la planche est contenu par des lignes droites et que le trait lumineux joignant le milieu de la lampe et la fente de la planche est selon la même ligne droite.

Nous verrons encore cela de manière plus évidente et plus claire, si nous prenons une planche percée à la scie en son milieu, <d'une ouverture> droite et régulière ; si nous mettons ensuite en vis-à-vis le milieu de l'ouverture pratiquée à la scie et le milieu d'une chandelle, de façon que la ligne menée à partir de la chandelle coupe orthogonalement le diamètre de la chandelle et l'ouverture pratiquée à la scie ; et si nous plaçons enfin, en face de la planche où est l'ouverture, une autre planche dont la surface, qui fait face à la <planche percée>, soit parallèle à la surface de la <planche percée> qui lui fait face.

Si alors, en partant du bord de la lumière qui tombe par l'ouverture de la planche sur l'autre planche parallèle à la <première>, on mène une ligne droite joignant l'un des deux côtés <de la lumière>, en largeur, au bord de la chandelle, du côté opposé en largeur, <cette ligne> touchera le bord de l'ouverture pratiquée dans la planche. Cela, assurément, ne se produirait pas si les limites des rayons ne suivaient pas des lignes droites.

Théon (?), p. 152, *l.* 3 sqq. Heiberg

πρὸς δὲ τὸ τὰς ἐν τῷ αὐτῷ ἐπιπέδῳ ταῖς ὄψεσι κειμένας περιφερείας εὐθείας φαίνεσθαι ἔλεγε τάδε · [...] καὶ γὰρ τὸ ἐπίπεδον τὸ ἐπ' εὐθείας κείμενον τῇ ὄψει αὐτὸ μὲν ἀθεώρητόν ἐστὶ διὰ τὸ μὴ προσπίπτειν αὐτῷ μηδεμίαν τῶν ἀπὸ τῆς ὄψεως ἐκχεομένων ἀκτίνων, κτλ ...

En ce qui concerne le fait que des arcs de cercle situés dans le même plan que les rayons visuels apparaissent des droites, il disait les choses suivantes : [...] Et en effet, le plan situé en ligne droite avec le rayon visuel est en tant que tel invisible, du fait qu'aucun rayon diffusé à partir de l'œil ne tombe sur lui, etc ...

Al-Kindī, De aspectibus, p. 453, *l.* 17-18

Immo cum circuli et aspiciens in una consistunt superficie, circuli nullo modo uidentur.

Bien au contraire, quand les cercles et la pupille sont dans un même plan, les cercles ne sont vus en aucune façon.

Théon (?), p. 146, *l.* 28 - 148, *l.* 2 Heiberg

ἐναργοῦς οὖν ὄντος τοῦ, ὅτι πᾶν φῶς κατ' εὐθεῖαν γραμμὴν φέρεται, καὶ πᾶσι προδήλου [...] · πολλάκις γὰρ βελόνης ἤ τινος τοιούτου ἑτέρου σωματίου ἐκριφέντος εἰς τὸ ἔδαφος φιλοτιμότερόν τινες προσεκάθισαν τῇ ζητήσει καὶ τὸν αὐτὸν τόπον πολλάκις ἐμάτευσαν οὐδενὸς ἐπιπροσθοῦντος τῷ ζητουμένῳ σωματίῳ · εἶτα μέντοι γε ὕστερον ἐπιβάλλοντες τὴν ὄψιν τῷ τόπῳ, ἐν ᾧπερ ἦν τὸ σωμάτιον, εἶδον τὴν βελόνην.

Le fait que toute lumière se propage suivant une ligne droite étant évident et limpide pour tout le monde [...] : en effet, si une aiguille ou quelque autre petit corps de ce genre est jeté sur le sol, d'aucuns se sont livrés souvent d'une manière obstinée à leur recherche ; ils ont scruté plusieurs fois un même endroit, bien que rien ne cachât le petit objet cherché, et ils n'ont cependant vu l'aiguille que plus tard, en dirigeant la vue sur l'endroit où se trouvait ce petit objet.

Al-Kindī, De aspectibus, p. 457, *l.* 1-5

Ex eis etiam que id quod diximus uerificant est quod aspiciens res uisui suo expositas, sicut librum, fortasse inquirit eius litteram, quam non comprehendit nisi post tempus. Cuius causa existit quod rectitudo uirtutis uisus imprimentis non cadit super id quod querit, quia postquam super ipsum ceciderit, statim ipsum comprehendit.

Parmi les <faits> encore qui confirment ce que nous avons dit, il y a celui-ci : il se peut que quelqu'un, regardant des choses exposées à sa vue, un livre par exemple, cherche à en voir une lettre et ne la saisisse qu'au bout de quelque temps. La cause en est que la ligne droite selon laquelle la puissance de la vue, qui s'imprime, ne tombe pas sur ce qu'elle cherche : en effet, après qu'elle est tombée dessus, elle le saisit aussitôt.

Al-Kindī, Rectification p. 165, *l.* 17-20

البصر لا يدرك مبصراته
دفعة لطلبه في بعض
الأحايين الحروف من
الكتاب فلا يقع عليها
والكتاب يرى كله تحت
نظره، ثم يقع عليه بعد
<ذلك فظنوا أن البصر
يقع عليه أعني الحرف
بعد> ما أنه كان يقع
على أشياء غيره.

La vue ne perçoit pas ses visibles d'un coup car, parfois, elle cherche les lettres d'un écrit sans tomber sur elles, alors que l'écrit est vu tout entier sous son regard <qui> tombe ensuite sur elle ; ils ont alors cru que la vue tombe sur elle, c'est-à-dire la lettre, après être tombé sur des choses autres qu'elle.

Théon (?), p. 148, *l.* 7-15 Heiberg

ἐπί τε τῶν ἀτενιζόντων τοῖς βιβλίοις συνιστάμενος *ἔφασκε* μηδὲ τούτους ἂν δύνασθαι πάντα τὰ ἐν τῇ σελίδι γράμματα ὁρᾶν. πολλὰ γοῦν ἀναγκαζομένους δεῖξαι τῶν σπανίως γραφομένων γραμμάτων μὴ δύνασθαι δεῖξαι διὰ τὸ μὴ πρὸς πάντα τὰ γράμματα τὰς ὄψεις φέρεσθαι, ἀλλ' ἐκ διαστημάτων ταύτας ὑπάρχειν καὶ πολλὰ τῶν κατατεταγμένων μὴ θεωρεῖν. ὥστε ἐκ τούτου φανερόν ἐστι, διότι οὐδὲ ὁ τόπος τῆς σελίδος ὅλος ὁραθήσεται.

Al-Kindī, De aspectibus, p. 457, *l.* 21-26

Huius autem demonstrator est quod, cum tenderimus ad litteram libri et non remouerimus oculos nostros ab ea, apparebit nobis et uidebimus illud, quod eam sequitur, ab ea occultari, et quanto plus elongabitur ab ea, uehementius occultabitur, donec ex omnibus litteris non appareat nisi nigredo in albedine. Sed ut nos cum eo libri lectionem consequi possimus, impossibile est et non repertum.

Se basant, en outre, sur ceux qui regardent attentivement les livres, *il disait* qu'ils ne peuvent pas apercevoir toutes les lettres qui se trouvent dans une page ; car, s'ils avaient à désigner les lettres qui y sont tracées en minorité, ils seraient incapables de le faire, parce que les rayons visuels ne sont pas dirigés sur toutes les lettres, mais se présentent avec des écarts, et qu'ainsi un grand nombre de lettres alignées ne sont pas vues. Il s'ensuit évidemment que l'espace de la page ne sera pas vu tout entier.

Voici <un fait> qui le montre : si nous fixons une lettre d'un livre sans en détourner nos yeux, elle nous apparaîtra, et nous verrons qu'elle nous dérobe ce qui la suit ; plus on s'éloignera d'elle, plus sévère sera cette occultation, jusqu'à ce que de toutes les lettres n'apparaisse plus que du noir sur du blanc. Or il est impossible et contraire à l'expérience que nous puissions poursuivre, dans ces conditions, la lecture d'un livre.

Théon (?), p. 150, *l.* 8-27 Heiberg

καὶ μὴν τὴν φύσιν ἔφασκε κατὰ τὰ ζῷα τὰ μὲν τῶν αἰστητηρίων πρὸς ὑποδοχὴν εὔθετα κατεσκευακέναι, τὰ δὲ μή. ἀκοὴν μὲν γὰρ καὶ γεῦσιν καὶ ὄσφρησιν κοῖλα κατεσκεύακεν ἐντὸς ὡς ἔξωθεν αὐταῖς προσπίπτειν σώματα κινήσοντα τὰς αἰσθήσεις ταύτας. ἀκοῇ μὲν γὰρ φωνὴ προσπίπτουσα τόπον ἐπιτήδειον ὤφειλεν εὑρίσκειν πρὸς τὸ ἀναμεῖναι καὶ μὴ κατὰ τὴν πρόσπτωσιν εὐθέως ἀποπαλθεῖσαν τήν τε αἴσθησιν ἀκίνητον διαφυλάττειν καὶ τὴν ἐπιφερομένην συγχέαι φωνήν. ὁμοίως δὲ καὶ ὄσφρησιν [...]. καὶ ἐπὶ τῆς ὁράσεως οὖν, εἴπερ ἔξωθεν αὐτῇ προσέπιπτε τὰ κινήσοντα αὐτὴν σώματα, καὶ μὴ αὐτὴ ἐξαπέστελλέ τι ἀφ' ἑαυτῆς, ἔδει τὴν κατασκευὴν αὐτῆς κοίλην τε καὶ εὔθετον πρὸς ὑποδοχὴν τῶν προσπιπτόντων σωμάτων εἶναι· νυνὶ δὲ θεωρεῖται τοῦτο οὐχ οὕτως ἔχον, ἀλλὰ μᾶλλον σφαιροειδὴς οὖσα θεωρεῖται ἡ ὄρασις.

Al-Kindī, De aspectibus, p. 459, *l.* 5-12

Preparauit ergo instrumenta sensuum secundum quantitatem suorum sensibilium. Fecit ergo odoratum ut ad ipsum fieret cursus in fine de subtili partis que ipsum defert. Et fecit auditus supremum concauum et infimum strictum, quoniam uox non est nisi aeris percussio, et aer currens impellit instrumentum auditus. Gustum quoque similiter condidit. Visus uero instrumentum fecit spericum ; ne ad ipsum currentia supra ipsum morarentur. Omnium autem sensuum centra morantia fecit, ...

Il alléguait encore que, chez les êtres vivants, la nature avait organisé les sens, les uns d'une manière propre à la réception, les autres d'une manière qui ne l'est pas. C'est ainsi qu'elle a organisé l'ouïe, le goût et l'odorat en cavités internes, en raison de ce que les éléments qui excitent ces sens leur parviennent de l'extérieur. En effet, la voix, en arrivant à l'ouïe, doit trouver un endroit favorable pour s'y maintenir, afin de ne pas laisser le sens inerte en étant repoussée dès son arrivée, et de ne pas rendre vaine la voix ainsi transmise. Il en est encore de même pour l'odorat [...]. D'autre part, en ce qui concerne la vue, si les éléments qui l'excitent lui arrivaient de l'extérieur, et si elle ne faisait pas émaner quelque chose d'elle-même, il aurait fallu que son organisation fût concave et appropriée à la réception des éléments qui la frappent. Or on constate qu'il n'en est pas ainsi, et que la vue est bien plutôt globulaire.

<Dieu> a donc disposé les organes des sens selon la grandeur des sensibles qui leur correspondent. Il a donc fait <l'organe de> l'odorat de telle sorte qu'y aboutisse le trajet du composant extrêmement subtil, qui porte <le sensible correspondant>. Il a fait <l'organe de> l'ouïe concave en haut et étroit en bas, parce que le son n'est autre chose qu'une percussion de l'air, et l'air dans son déplacement frappe l'organe de l'ouïe. Il a créé aussi de la même façon <l'organe du> goût. Quant à l'organe de la vision, il l'a fait sphérique, pour que ce qui vient à lui ne s'attarde pas à sa surface. Les centres de tous les <autres> sens, il en a fait des lieux d'arrêt, ...

Cette mise en regard appelle quelques commentaires. Tout d'abord, on l'a noté, al-Kindī ne cite pas sa source, mais l'intègre anonymement dans son propre texte. Ensuite, et plus fondamentalement, on constate que le philosophe ne se contente pas de répéter servilement les arguments du proème. Nous n'avons pas ici une traduction en lieu et place du texte grec, mais une utilisation libre suivant les besoins de la démonstration présente. De ces quelques pages, on ne peut donc tirer aucun argument philologique d'histoire du texte : voyageaient-elles indépendamment du texte grec ? Étaient-elles attribuées, et si oui, à qui ? Si elles l'étaient à Théon, cela entraînait-il l'attribution à ce dernier de l'une des versions de l'*Optique* ? On ne peut apporter une réponse complète à toutes ces questions. Notons simplement que les biobibliographes arabes n'attribuent aucun texte sur l'*Optique* d'Euclide à l'Alexandrin. Bien plus : al-Kindī, dans la *Rectification*, attribue à Théon, au sujet du cône visuel, une opinion explicitement opposée à celle d'Euclide. Ce point étant l'un des plus importants de son traité, la possibilité d'une bévue ou d'une distraction du philosophe est presque à exclure. Si, par conséquent, l'une des versions de l'*Optique* circulait à l'époque sous le nom de Théon, il n'aurait pas pu ne pas voir la contradiction ; la conclusion s'impose d'elle-même, et confirme les doutes sur la paternité de la recension "de Théon" : al-Kindī, s'il connaît celle-ci, ne la connaît pas sous cette attribution. En outre, tout laisse supposer qu'al-Kindī avait eu vent, par une voie ou par une autre, d'un texte de Théon où celui-ci suivait Ptolémée contre

Euclide[38]. En l'absence de tout renseignement supplémentaire, on se refusera à hasarder la moindre hypothèse sur le bien-fondé de ce passage. Rien ne laisse pour l'instant supposer, en particulier, que Théon ait commenté l'*Optique* de Ptolémée.

Résumons-nous et concluons. La tradition arabe permet d'affirmer l'existence non pas d'une tradition grecque "recensée" (thèse de Heiberg) ou développée (thèse, entre autres, de W. Knorr) mais de deux traditions grecques indépendantes ; à ces deux traditions elle en ajoute au moins deux.

En outre, al-Kindī connaît le proème attribué à Théon mais ne propose pour sa part aucune attribution. Il paraît en revanche disposer d'une source "théonienne" perdue s'inscrivant dans une tradition euclidienne, associée à quelque connaissance de celle de Ptolémée[39]. Rien n'indique en tout cas qu'al-Kindī connaissait directement l'*Optique* de Ptolémée. Peut-être est-ce par cette source qu'il a pu connaître la conception du cône visuel comme cône de radiation continue[40].

1.5 *La* Rectification : *texte, attribution et postérité*

Comme toute redécouverte d'un ancien texte, celle de la *Rectification* soulève deux groupes de questions, dont on ne peut guère faire l'économie. Le premier groupe porte sur tous les problèmes posés par l'authenticité du texte retrouvé et son attribution ; le second concerne l'impact de ce même texte sur le domaine dont il relève : dans le cas présent, de l'optique. Il nous faut savoir qui ont été les lecteurs de la *Rectification*, et comment ils l'ont lue. La place de tout premier plan occupée par al-Kindī, à la fois en histoire de l'optique – comme en témoigne la traduction du *De aspectibus* –, ainsi qu'en histoire de la transmission des savoirs grecs, rend ces questions aussi nécessaires que difficiles. Nous n'avons pas la prétention de les poser toutes – encore moins de les résoudre ; nous voulons simplement entamer une recherche, dans l'espoir de la voir se poursuivre dans l'avenir.

L'attribution de la *Rectification* à al-Kindī est assurée par quatre arguments indépendants. Le plus immédiat, qui n'est pas le moins fort, est le titre même du manuscrit. À moins de supposer un malin copiste qui ait délibérément cherché à tromper la postérité, il faut bien reconnaître que le titre est explicite et, bien plus, dans le style même des titres d'al-

---

[38] La *Rectification*, p. 173, *l.* 23-25.

[39] La *Rectification* : proposition 3.

[40] *L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*, Édition critique et exégétique augmentée d'une traduction française et de compléments par Albert Lejeune (Leiden, 1989), p. 37.

Kindī : un opuscule adressé à l'un de ses amis ou de ses protecteurs[41]. Le second argument, lexical, relève de la stylistique : la plupart des expressions et des tournures du prologue appartiennent au lexique d'al-Kindī, et se retrouvent dans les autres écrits du philosophe[42] (il suffit de les avoir quelque peu fréquentés pour relever une certaine uniformité sous ce rapport). Il en est d'ailleurs de même pour les autres parties du texte, qui toutes comportent des termes et des tournures courantes à l'époque, et notamment dans les autres écrits d'al-Kindī. Plus encore, on rencontre parfois des expressions reprises par al-Kindī dans son *De aspectibus*[43].

Le troisième argument est fourni par un texte anonyme, connu depuis longtemps, et rendu en allemand par E. Wiedemann[44], et qui a fait l'objet de conjectures invraisemblables. L'auteur de ce fragment cite al-Kindī et le titre de son livre (*Iṣlāḥ al-Manāẓir*). Nous allons montrer qu'il s'agit de la *Rectification*. Ce témoignage d'un ancien auteur qui avait sous les yeux le texte d'al-Kindī et la version A de l'*Optique* d'Euclide, elle-même lue dans la rédaction d'al-Ṭūsī, suffit à lui seul pour trancher définitivement la question de l'attribution, et, en partie tout au moins, celle de l'authenticité.

Le quatrième argument est encore plus puissant que le précédent. Il nous est fourni par un compilateur ancien, qui a copié des pages entières de la *Rectification*, comme d'ailleurs d'autres écrits d'al-Kindī. Ce compilateur est un certain Aḥmad ibn ʿĪsā, dont le livre est indépendant de celui de l'auteur anonyme.

---

41 S'agit-il de véritables épîtres ou un procédé de composition ? Cette présentation est très fréquente dans les écrits philosophiques et scientifiques d'al-Kindī. Pour s'en convaincre, il suffit de lire les débuts des différents opuscules [*Rasā'il al-Kindī al-falsafiyya*, éd. Abū Rīda, 2 vol. (Le Caire, 1950-1953), vol. I, p. 97, 186, 194, 201, 214, 244, 265, 272, 300, 353, 363 ; vol. II, p. 40, 48, 54, 64, 70, 76, 80, 90, 101, 110].

42 Une simple comparaison entre le prologue de la *Rectification* et ceux d'autres opuscules suffit pour montrer cette uniformité. Donnons quelques exemples parmi beaucoup d'autres.

Ainsi, une expression comme وفقك الله لدرك الحق se retrouve à une légère variante près dans l'édition d'Abū Rīda, vol. I, p. 194, 265, 272 ; vol. II p. 64, 90, 110.

L'expression وقد رسمت من ذلك قدر ما رأيته موافقاً لإرادتك se retrouve avec quelques variantes vol. I, p. 293, 353 ; vol. II, p. 48, 76, 80, 103, 110.

La construction سألت ... رسم كتاب se retrouve par exemple dans le vol. I, p. 194, 201, 265.

On peut ainsi multiplier les exemples qui illustrent ce style particulier d'al-Kindī. Voir à ce propos R. Rashed, "Al-Kindī's Commentary on Archimedes' The Measurement of the Circle", *Arabic Sciences and Philosophy*, 3.1 (1993), p. 7-53, à la p. 52-53. On retient des expressions comme خلف سمج جداً، أقاويلنا الفلسفية، أشنع المحال وأقبحه autant d'expressions que l'on retrouve dans les écrits d'al-Kindī.

43 Voir par exemple p. 338-339.

44 E. Wiedemann, "Aus al-Kindîs Optik", dans *Sitzungsberichten der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen*, Bd. 39 (1907), p. 245-248 ; repris dans *Aufsätze zur arabischen Wissenschafts-Geschichte*, Bd. 1 (Hildesheim, 1970), p. 396-399, voir notamment p. 399.

À la lumière de ces arguments, aucun doute ne pourra plus planer sur l'attribution et sur l'authenticité de la *Rectification*. Grâce aux deux derniers textes, nous pourrons aussi repérer certaines voies de diffusion du texte, et mesurer son impact.

1.5.1 *Le critique anonyme de la* Rectification

Un auteur anonyme reproche à al-Kindī d'avoir été trop long dans sa démonstration de deux propositions de l'*Optique* d'Euclide. Il cite à cette occasion le titre du livre d'al-Kindī, ainsi que les numéros des propositions en question, avant de reproduire, à sa manière, leurs énoncés seulement. Ces informations présentent le grand avantage d'être précises, et donc vérifiables. Mais venons-en d'abord au texte de cet auteur anonyme.

Ce texte nous est parvenu dans un nombre considérable de manuscrits, et, fait remarquable, le plus souvent à la suite de la rédaction de Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī de la version A de l'*Optique* d'Euclide[45]. Outre cette concomitance de l'écrit d'al-Ṭūsī et de ce fragment anonyme, notons que l'auteur de ce fragment se réfère aux numéros des propositions de l'*Optique* qu'il cite. Or, il s'agit des numéros tels qu'ils sont donnés dans la version A, laquelle, on vient de le dire, est à la base de la rédaction d'al-Ṭūsī. De là à attribuer ce texte à al-Ṭūsī lui-même, il n'y a qu'un pas, que rien n'autorise cependant à franchir. Contentons-nous d'affirmer pour l'heure que ce fragment a été adjoint relativement tôt à la fin du texte d'al-Ṭūsī.

L'auteur du texte anonyme évoque le livre d'al-Kindī sous le titre : la *Réforme de l'*Optique *(Iṣlāḥ al-Manāẓir)*. Ainsi, au lieu du long titre *Sur la rectification de l'erreur et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique, l'anonyme opte pour un court titre qui reflète la substance du titre complet. À *taqwīm* (rectification), il substitue le terme *iṣlāḥ* (réforme). Or la différence entre réformer et rectifier est à peine perceptible dans ce contexte, comme nous l'enseignent les dictionnaires anciens. Tout se passe donc comme si l'auteur anonyme suggérait le sens du long titre d'al-Kindī ; à moins que, à partir d'une certaine date, le livre d'al-Kindī n'ait été désigné sous ce titre. Il n'y a cependant à notre connaissance aucun autre argument en faveur d'une telle hypothèse.

L'examen de ce fragment anonyme – établi et traduit ici-même[46] – nous livre bien plus que le titre de l'écrit d'al-Kindī. L'auteur, nous l'avons dit, confrontait la version A de l'*Optique* – au moins dans la rédaction d'al-Ṭūsī – et la *Rectification*. Pour établir cette assertion, commençons par la seconde proposition citée par l'anonyme. Selon ce dernier, cette proposition est la soixante et unième de l'*Optique*. Voici ce qu'il écrit :

---

[45] Ce texte se trouve en effet à la suite de celui d'al-Ṭūsī dans la plupart des manuscrits que nous avons consultés (voir Bibliographie).

[46] Voir Appenidce I, p. 538-539.

> Il [al-Kindī] a dit à propos de la proposition 61 : les points sur une droite, soit *AB* – si l'œil, soit *C*, est en mouvement dans la direction de la droite sur laquelle sont ceux-ci, il [al-Kindī] veut dire *AB* – sont vus dans un ordre différent, c'est-à-dire que le plus proche de l'œil, soit *A*, est vu parfois en avance sur *B*, le plus éloigné, parfois en même temps que lui suivant une droite, et parfois en retard sur lui[47].

Cet énoncé, tel qu'il se présente dans le fragment anonyme, est une citation de la *Rectification*. On peut en effet y lire, proposition 57 :

> Les points sur une droite, si l'œil est en mouvement suivant la direction de la droite sur laquelle se trouvent ces points, paraîtront dans un ordre différent, c'est-à-dire que le plus proche de l'œil paraîtra parfois en avance sur le plus éloigné de l'œil, parfois sur la droite sans que l'un soit en avance sur l'autre, et parfois le plus proche de l'œil paraîtra en retard sur celui qui est le plus éloigné de l'œil[48].

Les seules différences entre les deux textes proviennent du fait que l'anonyme a intégré dans l'énoncé les désignations tirées de l'exemple, et d'un allégement de quelques expressions. Il s'agit donc d'une citation, au sens admis à l'époque, de la *Rectification*, et de celle-ci seulement. Pour justifier cette restriction, venons-en à la version A de l'*Optique*. C'est celle-ci, et celle-ci uniquement, parmi toutes les versions connues, qui attribue à la proposition le numéro donné par l'anonyme. Or, l'énoncé dans A est non seulement différent, mais aussi fautif. Il se présente ainsi :

إذا كان البصر متحركًا، تكون الأشياء البعيدة المتساوية يظنّ أنها متخلفة [مختلفة ms.] عما هو أقرب منها.

> Si l'œil est en mouvement, les choses égales les plus éloignées semblent être retardées par rapport à celles qui sont plus proches qu'elles.[49]

Dans sa rédaction de la version A de l'*Optique*, al-Ṭūsī reproduit exactement le même énoncé, ce qui montre que l'erreur est inhérente au texte, et n'est pas due à tel ou tel copiste. Al-Ṭūsī indique cependant à la fin de cette proposition – la soixante et unième – que celle-ci est fautive ; ou, comme il l'écrit : "C'est ainsi dans le texte, qu'on l'examine"[50] – *hākadhā fī al-matni wa-li-yunẓar fīhi*. L'erreur est donc antérieure au XIII[e] siècle, et remonte peut-être même au traducteur lui-même ou au texte grec traduit. Il suffit pourtant d'ajouter une négation (si l'œil n'est pas en mouvement), le terme "égale" présent dans le manuscrit I, et le terme "vitesse", pour obtenir : "Si l'œil <n'est pas> en mouvement, les choses à égale <vitesse> les plus éloignées semblent être retardées par

---

[47] *Ibid*, p. 539, *l.* 9-12.

[48] Voir *infra*, p. 327, *l.* 7-11.

[49] Mss L, fol. 104 ; I, fol. 73[r] ; Q, fol. 90[v].

[50] Voir les éditions non critiques de A.S. al-Dimirdāsh, "Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī wa Kitābuhu Taḥrīr al-Manāẓir li-Uqlīdis", *Revue des Manuscrits de la Ligue Arabe du Caire*, vol. 9 (1963), p. 243-290, à la p. 288; Naṣīr al-Dīn al-Ṭusī, *Kitāb al-Manāẓir* (Hyderabad, 1939/1358), p. 23.

rapport à celles qui sont plus proches qu'elles" – l'énoncé est alors correct. C'est précisément sous cette forme que se présente cet énoncé dans 54 de G_1 et 53 de G_2. La version A61 reprend avec quelques modifications le second Autrement de 54 de G_1, lequel est absent de G_2. En un mot, la citation du fragment est faite à partir de la *Rectification*, et diffère non seulement de ce qu'on trouve dans A61, mais aussi de ce qui lui correspond dans G_1 et G_2.

L'examen de l'autre proposition (la première) contenue dans ce fragment, nous conduit à des résultats analogues. Selon l'auteur anonyme, il s'agit de la proposition soixante. En effet, dans la version A de l'*Optique* d'Euclide, on lit sous ce numéro : *al-aqdār al-mutasāwiya al-ḥaraka fa-inna ab'adahā yuẓannu annahu abṭa' ḥarakatan*, ce qui se retrouve identiquement dans T, à cette différence que l'on a *al-ab'ad* au lieu de *ab'adahā* ; ce qui ne change rien. On lit donc : "Des grandeurs d'égal mouvement, celle qui est la plus éloignée semble d'un mouvement plus lent". Cet énoncé est donné par al-Kindī, comme on peut le vérifier plus loin[51] en confrontant l'énoncé 56 d'al-Kindī à la citation. La liberté, un peu plus grande que dans la proposition précédente, que se permet l'auteur anonyme, tient, en partie tout au moins, à la longueur de l'énoncé d'al-Kindī. Notons que celui-ci diffère nettement non seulement de A 60, mais aussi du premier Autrement de G_1 54, lequel est absent de G_2.

L'anonyme reproche à al-Kindī "la longueur de sa démonstration". Il écrit qu'[al-Kindī] "a été très long pour établir son énoncé qui est évident à partir de cette figure, bien qu'elle soit une conséquence de la proposition 57"[52]. Autrement dit, selon l'anonyme, al-Kindī aurait pu déduire cette proposition – qui est la cinquante-sixième dans sa numération – de la proposition 57 de A, c'est-à-dire la cinquante-troisième de la *Rectification* ; ce qui aurait évité une longueur inutile dans la démonstration. Les deux propositions – 53 et 56 de la *Rectification* – traitent, il est vrai, du même problème, mais al-Kindī montre en outre dans 56 que, à un moment donné, les deux points mobiles sont vus en même temps. Il reste cependant bien des longueurs dans la démonstration, dues sans doute à un excès de justification. C'est ce que l'anonyme a voulu dénoncer.

Quoi qu'il en soit, nous avons, avec ce fragment, une confirmation qu'il existait un livre d'al-Kindī dont le projet était de "réformer" l'*Optique*, et que ce livre est bien celui que nous avons trouvé sous le titre de la *Rectification*. L'intérêt de ce fragment est d'offrir autant de renseignements en si peu de lignes.

---

[51] Voir la *Rectification*, p. 320.

[52] Voir Appendice I, p. 539, *l.* 7-8.

1.5.2. *Aḥmad ibn ʿĪsā compilateur de la* Rectification *et d'autres écrits d'al-Kindī*

Aḥmad ibn ʿĪsā a composé un livre intitulé l'*Optique et les miroirs ardents selon la doctrine d'Euclide sur les causes de la vision* (*Kitāb al-manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa ʿalā madhhab Uqlīdis fī ʿilal al-baṣar*). De ce livre, nous disposons pour l'heure de trois manuscrits, dont l'un est en caractères hébraïques[53]. C'est M. Krause[54] qui, dans la liste qu'il a établie d'un certain nombre de manuscrits scientifiques d'Istanbul, a le premier signalé ce livre d'Ibn ʿĪsā. Nous avons eu par la suite, à plusieurs reprises, l'occasion d'attirer l'attention des historiens de l'optique sur ce livre, et sur l'emprunt par son auteur d'un texte d'al-Kindī[55]. Le livre lui-même est une somme optique, où se juxtaposent des textes hétérogènes, d'origines diverses, sans que l'auteur se soucie de discuter de leurs apports. Ainsi, outre l'optique au sens euclidien, on y trouve des textes sur la sensation et les sens d'après Aristote, d'autres textes d'origine galénique, des fragments de catoptrique, sur les miroirs ardents, le halo, l'arc-en-ciel et l'illusion lunaire. Bref, un pot-pourri des différentes branches de l'optique avant les progrès accomplis par Ibn Sahl puis par Ibn al-Haytham. Ce livre se signale aussi par un trait demeuré jusqu'ici inaperçu : son parti pris hellénistique. Ibn ʿĪsā ne cite que des auteurs "anciens", au sens de l'époque (*al-awā'il*) – même quand il emprunte aux "modernes". On voit ainsi apparaître les noms d'Hippocrate, d'Euclide, de Galien, d'Anthémius de Tralles, et, bien entendu, d'Aristote, alors que c'est en vain qu'on chercherait le nom d'un seul moderne. Or ce parti pris n'est pas l'apanage d'Ibn ʿĪsā, puisque l'astronome du Xe siècle, ʿUṭārid al-Ḥāsib, le dénonce chez certains de ses contemporains[56]. Mais à elle seule, cette indication ne permet pas de conjecturer les dates d'Ibn ʿĪsā. Faute de s'interroger sur la nature de cette somme optique ou sur ses partis pris,

---

[53] C'est Y.T. Langermann qui a attiré mon attention sur cette version hébraïque : Ms. Vat. Heb. 378. Il a repris cette information dans un article récent "Arabic Writings in Hebrew Manuscripts : A Preliminary Relisting", *Arabic Sciences and Philosophy*, 6.1 (1996), p. 137-160, à la p. 143-145.

[54] Voici ce que M. Krause écrit : "Genannt werden Euklid, Aristoteles, Hippokrates und Galen, dagegen kein islamischer Gelehrter." dans "Stambuler Handschriften islamischer Mathematiker", *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Bd. 3 (1936), p. 437-532, à la p. 513.

[55] R. Rashed, "Fūthīṭos (?) et al-Kindī sur 'l'illusion lunaire'", dans *ΣΟΦΙΗΣ ΜΑΙΗΤΟΡΕΣ "Chercheurs de sagesse". Hommage à Jean Pépin*, Institut d'Études Augustiniennes (Paris, 1992), p. 534-539, à la p. 543 ; *id. Géométrie et dioptrique au Xe siècle. Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham* (Paris, 1993), p. 238 ; *id.* "Le *Discours de la Lumière* d'Ibn al-Haytham (Alhazen)", *Revue d'histoire des sciences*, 21 (1968), p. 197-224, à la p. 214, note 2 ; repris dans *id.*, *Optique et mathématiques : Recherches sur l'histoire de la pensée scientifique en arabe*, Variorum (Aldershot, 1992) ; *id.* "Geometrical Optics", dans R. Rashed (éd.), *Encyclopedia of the History of Arabic Science* (London, 1996), p. 643-671, à la p. 656.

[56] C'est ce qui ressort de l'introduction de ʿUṭārid à son livre *al-Anwār al-mushriqa fī ʿamal al-marāyā al-muḥriqa*, ms. Istanbul, Süleymaniye, Laleli 2759/1, fol. 1^v^-2^r^.

l'historien se heurtera à deux écueils : attribuer à Ibn ʿĪsā des textes qui ne lui reviennent pas, pour ensuite situer leur auteur à une époque qui ne peut être la sienne. En partant de textes dont nous montreront qu'ils appartiennent aux auteurs du IXe siècle, et en raison de la langue de ces textes, M. Krause l'a placé au milieu du IIIe siècle de l'hégire, c'est-à-dire autour de 864-5. Plus récemment, après avoir attribué à Ibn ʿĪsā des textes appartenant à al-Kindī, on est allé jusqu'à conjecturer qu'Ibn ʿĪsā précèdait ce dernier, et on a opposé deux textes d'al-Kindī comme s'il s'agissait de deux textes écrits par deux auteurs différents, al-Kindī et Ibn ʿĪsā[57]. Ces méprises se dissipent d'elles-mêmes pour peu qu'on examine avec quelque attention la rédaction d'Ibn ʿĪsā et les sources de sa somme. Celle-ci comprend non seulement des fragments d'Anthémius de Tralles et d'autres écrits grecs rendus en arabe, mais aussi, comme nous l'avons affirmé ailleurs, une compilation des livres d'al-Kindī sur *Les rayons solaires*[58], ainsi que de l'opuscule de ce dernier sur *Les grandeurs immergées dans l'eau*[59]. Parmi ces sources, nous avons également pu identifier *Les dix livres sur l'œil*, de Ḥunayn ibn Isḥāq (mort en 873 ou 877), ainsi que la *Rectification* de son aîné al-Kindī. En effet, de Ḥunayn ibn Isḥāq, Ibn ʿĪsā emprunte un long fragment, du fol. 131^r au fol. 136^r du manuscrit Ragip Paşa 934 de la bibliothèque Süleymaniye d'Istanbul, c'est-à-dire les pages 120 à 124 de l'édition de Max Meyerhof[60]. Mais c'est à la *Rectification* d'al-Kindī qu'est fait l'emprunt le plus massif, qui nous intéresse ici à double titre : l'écrit d'Ibn ʿĪsā ne nous permettra pas seulement d'authentifier le texte de la *Rectification*, mais aussi d'apprécier toute l'influence ultérieure de son auteur. Notons en effet dès maintenant que le texte du compilateur a lui aussi constitué une voie importante de diffusion de l'œuvre optique d'al-Kindī, et indirectement de celle d'Euclide. La compilation d'Ibn ʿĪsā semble avoir été diffusée directement ainsi que par d'autres auteurs tardifs, comme Ṣalāḥ al-Dīn al-Kaḥḥāl[61].

---

[57] Voir A.I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I-III on Direct Vision. Translated with Introduction and Commentary*, Studies of the Warburg Institute, vol. 40, i-ii, 2 vol. (London, 1989), vol. II, p. XXV-XXVI. À ces méprises, A.I. Sabra en ajoute quelques autres, lorsqu'il attribue un autre texte d'al-Kindī sur les grandeurs immergées dans l'eau, que *Muḥammad* ibn al-Haytham s'est borné à *reprendre*, au mathématicien *al-Ḥasan* ibn al-Haytham ; deux auteurs qu'il faudra bien, soit dit en passant, cesser un jour de confondre. Voir plus loin p. 125 sqq.

[58] R. Rashed, "Geometrical Optics", dans *Encyclopedia of the History of Arabic Science*, p. 656.

[59] R. Rashed, "Fūthīṭos (?) et al-Kindī sur 'l'illusion lunaire'" , p. 541 sqq.

[60] Max Meyerhof, *The Book of the Ten Treatises on the Eye Ascribed to Hunain ibn Ishâq (809-877 A.D.)* (Le Caire, 1928).

[61] *Nūr al-ʿuyūn fī jāmiʿ al-funūn*, ms. Paris, B.N. 3008, fol. 15^v-23^v ; trad. allemande J. Hirschberg, J. Lippert et E. Mittwoch, *Ṣalāh ad-Dīn. Licht der Augen, aus arabischen Handschriften übersetzt und erläutert* (Leipzig, 1905); repris dans F. Sezgin (éd.), *Augenheilkunde im Islam. Texte, Studien und Übersetzungen* (Frankfurt am Main, 1986), p.206-230 ; pour les coïncidences entre le texte d'Ibn ʿĪsā et celui d'al-Kaḥḥāl, voir A.I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham*, vol. II, p. lxvi-lxvii.

Le manuscrit en caractère hébraïque, enfin, atteste de l'audience occidentale de cette œuvre composite.

Pour établir qu'il s'agit bien d'une compilation de la *Rectification*, à peine est-il besoin d'une preuve, puisque Ibn ʿĪsā recopie, à quelques légères modifications près et dans l'ordre, les propositions suivantes : (14, 15, 16, 17, 18, 10), (23, 24, 25, 26, 27 et fin 28), (33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 44, 49, 51, 54, 46, 47). À cela s'ajoutent l'une des preuves des propositions restantes, et quelques paragraphes disséminés. De sorte que le cinquième environ du livre d'Ibn ʿĪsā provient directement de la *Rectification* d'al-Kindī.

Emprunt massif – c'est le moins que l'on puisse dire – le livre d'Ibn ʿĪsā est en outre d'une absolue discrétion sur le nom des auteurs : al-Kindī, non plus qu'Ḥunayn ibn Isḥāq, n'y sont jamais nommés, ne serait-ce qu'une fois. Leur présence, si l'on ose ainsi parler, n'est signalée que noyée dans la foule, et seulement une fois. Avant de transcrire les propres mots d'al-Kindī, Ibn ʿĪsā a écrit une fois : "Les philosophes et Euclide parmi eux et avec eux ont dit ..."[62] – *qālat al-falāsifa wa-Uqlīdis minhum wa maʿahum*. Il en est de même pour Ḥunayn, dont le fragment est précédé par : "Les médecins Hippocrate, Galien et d'autres". Plus encore : tous les paragraphes de la *Rectification* qui pourraient laisser penser qu'il s'agit d'un commentaire critique de l'*Optique*, et donc trahir la présence d'al-Kindī, ont été systématiquement éliminés. Citons à titre de simple exemple la proposition 34 de la *Rectification* où l'ensemble du texte a été recopié par Ibn ʿĪsā, sauf ces quelques lignes :

> Mentionnons les propositions qu'Euclide a mentionnées, et montrons-les de la manière la plus claire possible, si Dieu le veut. Il y a en effet apporté des choses particulières et accidentelles, dont il pouvait se dispenser par une seule proposition à l'aide de laquelle on peut comprendre que tout ce qui est différent de ceux-ci est vu différent (il s'agit des diamètres égaux)[63].

Le silence d'Ibn ʿĪsā est à ce point systématique qu'on ne peut l'imputer qu'à une volonté délibérée. Il semble de fait qu'Ibn ʿĪsā cherchait à faire passer son livre pour ce qu'il n'était pas : une rédaction propre, faite à partir de seules sources anciennes, sans référence aux modernes. Mais cet "idéal", et les procédés adoptés par Ibn ʿĪsā pour l'atteindre, s'écartent de ceux d'al-Kindī, des Banū Mūsā, d'Ibn Qurra, bref des savants du IXe siècle. Ceux-ci, tout en vénérant leurs prédécesseurs, n'hésitaient pas à s'en séparer pour les critiquer : nous avons sous les yeux l'exemple de la *Rectification*. Tout désigne donc Ibn ʿĪsā, des dates des textes qu'il compile à son idéal et à ses procédés, comme un savant d'un rang bien

---

62 Voir mss Ragip Paşa 934, fol. 5^v^ et Laleli 2759, fol. 26^r^.

63 Voir *infra*, p. 255, *l.* 1-3.

inférieur, et relativement tardif. Sur ses dates exactes, la question demeure bien sûr ouverte[64].

Reste encore à examiner, même brièvement, les procédés de rédaction appliqués par Ibn ʿĪsā dans sa compilation de la *Rectification*.

1. Le premier procédé, de loin le plus usité, est la copie directe, émaillée de quelques gloses destinées à aider un lecteur débutant, et à lui éviter certaines confusions. Ibn ʿĪsā modifie quelques expressions d'al-Kindī, pour les remplacer par d'autres qui lui semblent mieux convenir. Ces modifications n'altèrent d'aucune manière le texte d'al-Kindī. Prenons l'exemple de la proposition 14. L'énoncé repris par Ibn ʿĪsā est celui de la *Rectification*, différent de celui de la version A. On lit dans le livre d'Ibn ʿĪsā :

الأعمدة المتساوية الأقدار التي على سطح الأفق، والبصر أعلى منها وخارج عن سمتها، يرى الأبعد منها عن البصر أطول مما هو أقرب منه إلى البصر.

Des perpendiculaires de grandeurs égales étant élevées au-dessus de l'horizon, l'œil étant plus élevé qu'elles et à l'extérieur de leur direction, la plus éloignée de l'œil sera vue plus longue que celle qui s'en approche[65].

La seule différence entre ce texte copié par Ibn ʿĪsā et celui d'al-Kindī est que chez Ibn ʿĪsā on trouve "Des perpendiculaires de grandeurs égales" au lieu de "Des perpendiculaires égales". L'énoncé de A s'écrit :

الأقدار المتساوية إذا كانت تحت البصر على سمت واحد، فالذي بعد منها يرى أعلى مما هو دونه.

Des grandeurs égales, si elles sont au-dessous de l'œil dans une même direction, celle qui s'éloigne sera vue plus élevée que celle qui est avant elle[66].

À un mot près, le texte d'Ibn ʿĪsā est une copie du texte d'al-Kindī et diffère de celui de A. Poursuivons la comparaison et considérons le texte d'al-Kindī en mettant entre (...) les ajouts d'Ibn ʿĪsā, dont certains proviennent sans doute du manuscrit d'al-Kindī par lui utilisé, et dont nous n'avons aucun moyen de le distinguer des gloses ajoutées.

---

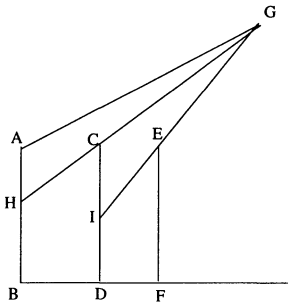
64 Nous allons démontrer qu'Aḥmad ibn ʿĪsā est postérieur à al-Kindī puisqu'il a compilé la *Rectification* ainsi que d'autres écrits de celui-ci. Il a compilé par ailleurs *Les dix livres sur l'œil* de Ḥunayn ibn Isḥāq. Ses propres commentaires montrent de plus qu'il ne s'agit pas d'un savant de premier rang. Or al-Nadīm mentionne un artisan des instruments astronomiques et scientifiques (*min ṣunnāʿ al-ālāt*)" : Aḥmad ibn ʿAlī ibn ʿĪsā. Si ce dernier, comme il est vraisemblable, était bien le fils de ʿAlī ibn ʿĪsā, lui-même artisan des instruments astronomiques et protégé d'Ibn Khalaf al-Marwarrūdhī, alors Aḥmad serait un homme du Xe siècle ou, à l'extrême rigueur, de la toute fin du IXe siècle. Toute la question est de savoir si Aḥmad ibn ʿAlī ibn ʿĪsā était le même qu'Aḥmad ibn ʿĪsā. D'autres informations sont nécessaires pour pouvoir y répondre. Voir al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 342-343.

65 *Al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa*, Istanbul, Süleymaniye, Ragip Paşa 934, fol. 82^r^.

66 Ms L, fol. 85.

مثال ذلك : أن نفرض الأعمدة المتساوية (الأقدار و) القائمة على (سطح) الأفق (الذي هو و م) أعمدة ا ب جـ د هـ و، والبصر علامة ز خارجًا (خارج) عن سمتها .

Exemple : Supposons les perpendiculaires (des grandeurs) égales (et qui sont) élevées au-dessus (du plan) de l'horizon (qui est *FM*), les perpendiculaires *AB*, *CD*, *EF*, et l'œil le point *G* à l'extérieur de leur direction.



فأقول : إن (عمود) ا ب الأبعد من ز يرى أطول من (عمود) جـ د الأقرب من ز منه (من عمود ا ب) و(عمود) جـ د الأبعد من ز من (عمود) هـ و يرى أطول من (عمود) هـ و الأقرب من ز من (عمود) جـ د .

Je dis que (la perpendiculaire) *AB*, la plus éloignée de *G*, est vue plus longue que (la perpendiculaire) *CD*, qui est plus proche que celle-ci de *G* [Ibn ʿĪsā explicite : "de celle-là", mais en écrivant : "plus proche que *AB*"], et (la perpendiculaire) *CD* plus éloignée de *G* que (la perpendiculaire) *EF* est vue plus longue que (la perpendiculaire) *EF* qui est plus proche de *G* que (la perpendiculaire) *CD*[67].

Les différences entre les deux textes sont le plus souvent de cet ordre : nommer l'être désigné, perpendiculaire, cercle, arc ...; expliciter un pronom relatif. Certains de ces ajouts pourraient correspondre à des omissions dans une copie plus primitive du manuscrit. Mais, dans un cas comme dans l'autre, ces différences n'altèrent en rien l'esprit du texte, ni même, pourrait-on dire, sa lettre.

2. Le second procédé s'apparente au premier, à cette différence près que le nombre des gloses croît, de même que les libertés prises à l'égard du texte. Tout en restant proche de la lettre d'al-Kindī, Ibn ʿĪsā intercale des explicitations, et il lui arrive de recomposer les termes d'al-Kindī. Cette forme de rédaction est davantage employée par le compilateur, on le comprend, lorsqu'il s'agit des paragraphes doctrinaux. Mais ces écrits d'Ibn ʿĪsā, rappelons-le, n'altèrent en rien le texte de la *Rectification*, et ne le rendent jamais méconnaissable. Ce n'est nullement une rédaction de la *Rectification*, mais une libre copie de ces paragraphes. En guise

[67] *Al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa*, ms. Ragip Paşa 934, fol. 82ᵛ. Ibn ʿĪsā regroupe la figure de cette proposition et celle de la proposition 15 de la *Rectification*.

d'exemple, mentionnons ici le passage capital de la *Rectification* où al-Kindī élabore ses vues sur le rayon et le cône visuels. On donnera alors la copie d'Ibn ʿĪsā en notant entre (...) les expressions absentes du texte d'al-Kindī, en mettant en italique celles qui ont été légèrement modifiées ou recomposées, et enfin en signalant entre [...] la reprise un peu plus libre du texte d'al-Kindī.

العين ينبث من ناظرها قوة نورية تؤثر فيما لاقت / من الجوّ (المضيء، أعني الهواء إذا كان مضيئًا)، أجمع ضياءً (شكله) صنوبريًا (شبيه بالرخ، ورخه) أعني مستحده عند الناظر نفسه، وكلما بعد اتسعت قاعدته، فيكون الشكل الذي يحيط به ذلك الضياء مخروطًا أسطوانيًا مستحده عند الناظر ونهايته تماس المنظور إليه، فما وقع عليه ذلك الشعاع (النوري) وهو *الضياء المنبث من البصر، رآه البصر وأدركه*، وما لم يقع عليه ذلك الشعاع، *لم يره البصر ولم يدركه*، فيصير ذلك *النور الشعاعي المخروط* (الخارج من البصر المنبث في الهواء المضيء) كالعضو للحيّ الناظر، فيحس (به الناظر المرتفعة عنه الموانع) كل ما لامسه (ووقع عليه من) *الأجرام* (ومستحده الذي هو رخه وهو مخرج النور من البصر يخرج على زاوية) فما كانت نهايتا ذلك النور الخارج من البصر المماس لنهايتي الجرم المنظور إليه يحيطان من الناظر إلى المنظور إليه بزاوية عظيمة / رئي ذلك الجرم المنظور إليه يحيطان من الناظر إلى المنظور إليه بزاوية صغيرة رئي ذلك الجرم المنظور إليه صغيراً...[

Voici la traduction de ce texte d'Ibn ʿĪsā :

> Il se disperse à partir de la pupille de l'œil une puissance lumineuse qui imprime dans tout l'air (illuminé, c'est-à-dire l'air, s'il est lumineux) qu'elle rencontre une luminosité (de figure) conique (semblable au tour, et son tour) c'est-à-dire son sommet est dans la pupille elle-même, et à mesure qu'elle s'éloigne, sa base s'élargit ; ainsi la figure entourée par cette luminosité sera un cône cylindrique dont le sommet est dans la pupille et dont l'extrémité est du côté de ce qui est regardé. C'est sur quoi tombe ce rayon (lumineux), *qui est la luminosité dispersée à partir de l'œil, l'œil le voit et le saisit*, et ce sur quoi ce rayon ne tombe pas, *l'œil ne le voit ni ne le saisit*. Cette lumière radiante conique (issue de l'œil et dispersée dans l'air lumineux) sera *comme le membre du vivant* : la pupille ; (la pupille débarrassée des obstacles) sent tout ce qu'il touche et (tous les corps sur lesquels il tombe), (son sommet, qui est son tour et qui est l'issue de la lumière de l'œil, sort sous un certain angle), tout ce dont les deux extrémités *de cette lumière issue de l'œil* qui touche les deux extrémités [du corps regardé entourent à partir de la pupille au regardé un grand angle, ce corps regardé sera vu grand, et ce dont les extrémités de la lumière issue de l'œil qui touche les deux extrémités du corps regardé entoure à partir de l'œil jusqu'au regardé un petit angle ; ce corps regardé sera vu petit][68].

On observe donc que les ajouts, les modifications et les reprises ne sont rien de plus que des explicitations souvent superflues des propos d'al-Kindī. Changer *jism* en *jirm*, ou *shuʿāʿ* en *nūr khārij min al-baṣar* dans ce contexte, ou encore reprendre une expression ramassée et un peu rugueuse à la manière d'al-Kindī pour la développer, rien de cela ne modifie le fond du texte ni ne parvient à voiler le texte copié.

---

[68] *Ibid.*, fol. 5ᵛ-6ᵛ.

3. Il arrive qu'Ibn ʿĪsā ajoute d'autres cas non traités par al-Kindī, en guise de développement. Ces ajouts sont de deux ordres : ou bien une illustration sensible d'une propriété, une sorte d'expérience qualitative[69] ; ou bien, ce qui est bien moins intéressant, la multiplication des cas superflus. Un exemple que nous traiterons incessamment est celui de la proposition 10 de la *Rectification*, consacrée à la vision des figures polygonales à partir d'une certaine distance. Al-Kindī, comme Euclide, considère le cas du carré. Ibn ʿĪsā multiplie les cas : triangle, hexagone ...[70]. Pour ces cas, son étude, et plus généralement ses commentaires, sont mathématiquement et optiquement bien au-dessous de ceux d'al-Kindī. Mais ce n'est pas ce qui nous intéresse ici.

4. Une fois n'est pas coutume, Ibn ʿĪsā cite l'*Optique* d'Euclide de façon plus précise, et non de la manière vague que nous avons constatée précédemment. Le fait mérite que l'on s'y arrête, puisqu'il soulève l'importante question de savoir quelle version de l'*Optique* il pouvait connaître, et, d'autre part, comment il a poursuivi son travail de compilation, dans ce cas. Ibn ʿĪsā écrit :

قال أقليدس في كتاب *اختلاف المناظر* : الأشكال ذوات الزوايا ترى من بعد ما مستديرة، مثل المربع فإنه إذا بعد عن البصر رئي مدوراً.

Euclide a dit dans le livre sur *La diversité des perspectives* : les figures polygonales, vues à une certaine distance arrondies, comme le carré s'il s'éloigne de l'œil sera vu arrondi.[71]

La première partie de cette citation est identique à celle de la *Rectification*, alors que la seconde, en italique, n'y figure pas. Or cet énoncé rapporté par Ibn ʿĪsā, tout comme celui de la *Rectification*, sont tous deux différents de l'énoncé donné dans A, aussi bien que de ceux donnés dans G_1 et G_2. Dans A on lit en effet :

الأشكال القائمة الزوايا إذا أبصرت من بعد ترى مستديرة.

Les figures rectangulaires vues à distance sont vues arrondies [Ms. L, fol. 84].

C'est mot pour mot l'énoncé que l'on trouve dans T et J, sans aucun doute à partir de A. Dans G_1 et G_2 on a le même énoncé que dans A, à cette différence près (que l'on peut sans inquiétude mettre sur le compte du traducteur arabe) qu'au lieu de "figures rectangulaires", on lit "grandeurs rectangulaires" : τὰ ὀρθογώνια μεγέθη. Donc dans toutes les versions connues de l'*Optique*, seuls al-Kindī et Ibn ʿĪsā citent l'énoncé d'Euclide avec "les figures polygonales".

Nous nous trouvons ainsi devant l'alternative suivante : ou bien Ibn ʿĪsā a reproduit la *Rectification* en ajoutant la seconde partie de l'énoncé, qui

---

[69] Comme exemples d'expérience qualitative, voir Ibn ʿĪsā, *al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa*, ms. Ragip Paşa 934, fol. 12^{r}, 13^{r}.

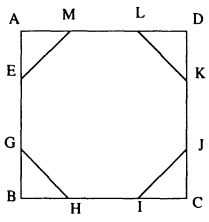
[70] *Ibid.*, fol. 91^{r}-93^{v}.

[71] *Ibid.*, fol. 89^{r}.

n'en est qu'un exemple (le mot *mā*, "certain", dans la première partie, qui manque à l'énoncé d'al-Kindī, n'est pas significatif, car il peut aussi bien être un ajout par Ibn ʿĪsā, qu'une omission dans le manuscrit de la *Rectification*[72]) ; ou bien Ibn ʿĪsā a eu accès, directement ou non, à la version K de l'*Optique*, celle que connaissait al-Kindī. La seule certitude que nous ayons pour l'heure est qu'il ne cite ni l'énoncé de A ni une variante de celui-ci. Il reste que Ibn ʿĪsā a fait suivre cet énoncé d'un exemple et d'une démonstration très proches de ceux de A, pour ensuite redonner la démonstration d'al-Kindī qui est tout à fait différente. Mieux encore : la démonstration de A est différente de celle de G_1, laquelle est différente de celle de G_2, si bien que les démonstrations des différentes versions de l'*Optique* sont deux à deux différentes ; ce qui rend le rapprochement entre la démonstration donnée par Ibn ʿĪsā et celle qui se trouve dans A particulièrement intéressant. Comparons-les.

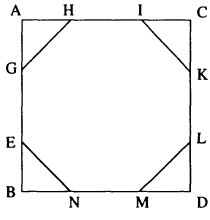
EUCLIDE D'APRÈS IBN ʿĪSĀ [fol. 89r-v]

مثال ذلك : مربع ا ب جـ د إذا بعد عن البصر، رئي مستديراً.
لأن البصر من مسافة بعيدة لا يقف على نقطة واحدة، ولكنه ينتقل، فبينما يقع على نقطة وهي نقطة هـ وبينما يقع على نقطة ز وبينما يقع على نقطة ح وبينما يقع على نقطة ط وبينما يقع على نقطة ي وبينما يقع على نقطة ك وبينما يقع على نقطة ل وبينما يقع على نقطة م؛
فلذلك يكون الذي يرى من شكل ا ب جـ د المربع إذا بعد عن البصر رئي مستديراً، مثل شكل ا ب جـ د القائم الزوايا؛ وذلك ما أردنا بيانه.



EUCLIDE A [Mss L, 84 ; Q, 63r]

فليكن الشكل القائم الزوايا شكل ا ب جـ د بعيداً عن البصر. فأقول إنه يرى مستديراً.
برهانه : لأن البصر من البعيد لا يقف على نقطة واحدة، ولكنه ينتقل، فتبين أنه بينما يقع على نقطة هـ وبينما يقع على نقطة ز وبينما يقع على نقطة ح وبينما يقع على نقطة ط وبينما يقع على بقية النقط.
فلذلك يكون الذي يرى شكل هـ ز ح ط ك ل م ن ولا يرى ما بين ذلك.
فالشكل القائم الزوايا الذي عليه ا ب جـ د يرى من البعد مستديراً؛ وذلك ما أردنا أن نبين.



72 Voir *infra* p. 189, *l.* 10.

Exemple : Si le carré *ABCD* s'éloigne de l'œil, il sera vu arrondi.

Puisque l'œil à une grande distance ne s'arrête pas sur un seul point, mais se déplace ; alors qu'il tombe sur un point qui est le point *E*, alors il tombe sur le point *G*, alors il tombe sur le point *H*, alors il tombe sur le point *I*, alors il tombe sur le point *J*, alors il tombe sur le point *K*, alors il tombe sur le point *L*, alors il tombe sur le point *M*. C'est pourquoi ce qu'on voit de la figure carrée *ABCD*, si elle s'éloigne de l'œil, est arrondi ; comme la figure *ABCD* rectangulaire. Ce qu'il fallait démontrer.

Soit la figure rectangulaire *ABCD* éloignée de l'œil. Je dis alors qu'elle sera vue arrondie.
Démonstration : Puisque l'œil à distance ne s'arrête pas sur un seul point, mais se déplace, il est clair qu'il tombe alors sur le point *E*, alors il tombe sur le point *G*, alors sur le point *H*, alors sur le point *I*, et alors sur les points qui restent. C'est pourquoi ce qu'on voit est la figure *EGHIKLMN*, et on ne voit pas ce qui est entre cela. La figure rectangulaire *ABCD* est donc vue, à distance, arrondi. Ce qu'il fallait démontrer.

Le face à face entre ces deux textes révèle une situation pour le moins singulière : suffisamment proches pour s'affilier à un ancêtre commun, ils sont néanmoins assez distants pour laisser entrevoir les traces de deux traditions textuelles différentes.

La comparaison mot à mot des deux textes montre qu'ils entament la démonstration de la même façon, et utilisent la même figure, à une légère modification près de l'ordre de la littération. C'est à ce titre qu'ils sont les héritiers d'un modèle plus ou moins lointain. Mais, alors que dans la version A on s'arrête à la moitié de l'énumération des points pour laisser au lecteur le soin de poursuivre, l'auteur du texte cité par Ibn ʿĪsā tient à conduire celui-ci par la main jusqu'au dernier point. La justification même de la proposition est différente : dans A on explicite l'argument principal, "ce qu'on voit est la figure *EGHIKLMN*, et on ne voit pas ce qui est entre cela", c'est-à-dire les points *A*, *B*, *C*, *D*. Le lecteur serait invité à réitérer le procédé à partir de la nouvelle figure, et pourrait ainsi voir à distance la figure polygonale engendrée. On chercherait en vain cet argument dans le texte reproduit par Ibn ʿĪsā. On peut bien sûr le récuser et lui contester la valeur d'une démonstration, mais on ne peut lui régler son compte en quelques mots, "la raison mentionnée par Euclide est manifestement erronée et indémontrable"[73], comme le fait al-Kindī. Ces propos sévères du philosophe s'appliqueraient mieux au texte rapporté par Ibn ʿĪsā, lequel est, lui, dénué de toute justification.

On peut, en d'autres termes, présenter la situation de la manière suivante :

1. Ibn ʿĪsā nous informe, pour une fois, qu'il cite l'*Optique* d'Euclide.
2. L'énoncé est celui donné par al-Kindī, à partir de la version de l'*Optique* à laquelle il avait accès, c'est-à-dire la version K.
3. Al-Kindī condamne l'exposé de K, et, immédiatement après l'énoncé, donne sa propre démonstration.

[73] Voir *infra* p. 189, *l.* 11.

4. L'*ecthésis*, la figure, ainsi que le début de la démonstration dans le texte d'Ibn ʿĪsā, sont proches de A.

5. Le reste de la démonstration dans Ibn ʿĪsā diffère de A.

6. La version A diffère de G_1 et de G_2, lesquelles diffèrent entre elles, même si elles ont le même énoncé.

Il semble donc, dans ces conditions, qu'Ibn ʿĪsā nous donne ici une citation de la version K. Ici comme en d'autres endroits, celle-ci paraît bien croiser A à un moment de son histoire. On attendrait qu'Ibn ʿĪsā s'arrête après avoir cité Euclide en personne : il n'en est rien. Il poursuit en copiant le texte d'al-Kindī, c'est-à-dire sa démonstration, sans même relever qu'elle contredit celle qu'il vient de donner. Ainsi, même lorsqu'il a recours à d'autres sources, et non des moindres puisqu'il s'agit de l'*Optique* d'Euclide, Ibn ʿĪsā éprouve le besoin de transcrire *in extenso* le texte de la *Rectification*.

L'auteur anonyme et Ibn ʿĪsā ont ainsi permis d'établir l'authenticité de la *Rectification*, et son attribution à al-Kindī. Il arrive souvent, nous l'avons constaté, que les textes cités de celle-ci, notamment par Ibn ʿĪsā, soient si proches du manuscrit retrouvé qu'ils peuvent servir de second manuscrit dans l'établissement critique du texte. Les différences les plus fréquentes sont les "ajouts", dans le texte d'Ibn ʿĪsā – qui pourraient être des omissions dans le texte retrouvé – de termes comme "droite", "arc", "perpendiculaire", devant la désignation. Le texte du manuscrit d'al-Kindī semble être plus économe sur ce plan. Mais, quel que soit le point de vue qu'on adopte, ces différences sont insignifiantes.

Tout comme Ibn ʿĪsā et Ṣalāḥ al-Dīn al-Kaḥḥāl, l'auteur anonyme renseigne aussi sur la diffusion de la pensée optique d'al-Kindī. Sans être nommé, il était bien au nombre de ceux qui s'intéressaient à l'optique ancienne – ce qui constitue du reste une leçon de prudence, et nous garde de mesurer l'impact d'une pensée à la présence du nom du penseur.

CHAPITRE II

AL-KINDĪ ET LA TRADITION EUCLIDIENNE EN OPTIQUE

Introduction

Dans son prologue à la *Rectification*, al-Kindī nous avertit qu'il a déjà écrit en optique un livre substantiel (*jalīl*), qui dispense de celui qu'il présente et qui, de surcroît, comporte "les premières lois de cet art". Ce livre porte, explique l'auteur, sur la discipline tout entière, tandis que la *Rectification* est bien plus limitée et ne traite que de l'*Optique* d'Euclide. Al-Kindī n'a malheureusement pas pris la peine de nommer cet ouvrage important, et il ne nous reste plus, pour remédier à son silence, que les listes établies par les anciens biobibliographes des titres des travaux du philosophe. De tous les candidats qu'ils proposent, et à moins qu'il ne s'agisse d'une œuvre qui leur aurait échappé – comme c'est précisément le cas pour la *Rectification* – le meilleur nous semble être le *Fī ikhtilāf al-manāẓir* (*La diversité des perspectives*)[1]. Nous disposons également de la traduction latine par Gérard de Crémone d'un livre d'al-Kindī, intitulée *Liber de causis diversitatum aspectus* (communément nommée *De aspectibus*), qui rend sans doute l'arabe: *Fī ʿilal ikhtilāf al-manāẓir* (*Sur les causes de la diversité des perspectives*). Il s'agit, à peu de choses près, de celui précédemment cité, ce qui incite à ne voir là qu'une seule et même œuvre. Il semble pourtant que l'expression rendue par Gérard de Crémone soit la plus exacte, non seulement parce qu'il s'agit d'une traduction, mais aussi par comparaison avec les titres donnés à l'époque à ce type d'ouvrage, comme par exemple celui du contemporain d'al-Kindī, Ibn Lūqā[2]. L'absence du mot "causes" s'explique d'ailleurs aisément par la flexibilité bien connue des citations de l'époque. C'est donc très vraisemblablement ce livre, parvenu jusqu'à nous dans la traduction de Gérard de Crémone, qu'évoque al-Kindī. Dans cette hypothèse, la *Rectification* ne précède pas le *De aspectibus*, mais le suit, ces œuvres constituant à elles deux l'essentiel des écrits attribués à al-Kindī en optique, au sens ancien du terme.

La chronologie des écrits optiques d'al-Kindī est donc claire : son commentaire critique est postérieur à sa propre contribution au domaine. Cette chronologie explique, en partie tout au moins, le sens pris par le commentaire critique. Al-Kindī examine alors les définitions et les

---

[1] Al-Nadīm, *Kitāb al-fihrist*, éd. R. Tajaddud (Téhéran, 1971), p. 315-320, à la p. 317 ; al-Qifṭī, *Taʾrīkh al-ḥukamāʾ*, éd. J. Lippert (Leipzig, 1903), p. 366-378, à la p. 371 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *ʿUyūn al-anbāʾ fī ṭabaqāt al-aṭibbāʾ*, éd. N. Riḍā (Beyrouth, 1965), p. 285-293, à la p. 290.

[2] Voir Appendice II.

propositions d'Euclide à la lumière de ses propres résultats, intègre des critiques qu'il avait déjà adressées à Euclide au cours de l'élaboration de son livre, rectifie ce qui lui paraît inexact, propose d'autres démonstrations qui lui semblent meilleures, et tire au clair, selon ses propres forces, les idées sous-jacentes. Cette lecture ne peut de toute évidence se confondre avec une recension, quand bien même elle viendrait d'un savant aussi éminent que Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī ou d'un mathématicien aussi informé qu'Ibn Abī Jarrāda. Al-Kindī, lui, ne cherche pas à écrire un livre d'enseignement de l'optique destiné à trouver sa place entre les livres "intermédiaires" (*al-mutawassiṭāt*), dans l'ordre de l'enseignement (*fī al-tartīb al-ta'līmī*), entre les *Éléments* et l'*Almageste* ; il entend reprendre d'une manière critique l'*Optique* d'Euclide. Son but n'est pas non plus celui d'un commentateur classique – comprendre le texte en en rétablissant la structure et la cohérence interne ; il tente plutôt de poursuivre l'œuvre du savant : s'il reprend, c'est moins pour restituer que pour dépasser. Un commentaire rédigé avec de telles visées ne peut être neutre, de toute évidence, mais risque fort d'infléchir le sens de l'*Optique*. Et paradoxalement, c'est cet infléchissement qui lui donne toute son importance dans l'histoire de la discipline : il révèle le nouveau sens revêtu par les anciennes notions et aide ainsi à mieux cerner les significations recherchées par l'auteur commenté.

C'est sur ce terrain que nous allons suivre al-Kindī ; d'abord dans ses critiques des conceptions d'Euclide, puis dans sa lecture quelque peu physique de l'optique euclidienne et, enfin, dans sa tentative pour réaménager la doctrine de l'émission.

2.1. *Rayon et cône visuels : la conception d'Euclide et la critique d'al-Kindī*

L'*Optique* d'Euclide s'ouvre dans les deux versions G_1 et G_2 sur sept définitions, qui sont en fait des hypothèses ou des postulats. Citons-les d'après G_1 :

1° Les lignes droites issues de l'œil se propagent sur l'intervalle de grandes grandeurs (διάστημα μεγεθῶν μεγάλων) ;
2° la figure contenue par les rayons visuels (ὑπὸ τῶν ὄψεων) est un cône ayant son sommet dans l'œil et sa base au niveau des extrémités de ce qui est vu ;
3° ce qu'on voit est ce sur quoi les rayons visuels tombent, et ce qu'on ne voit pas, ce sur quoi les rayons visuels ne tombent pas ;
4° ce qu'on voit sous un angle plus grand apparaît plus grand, ce qu'on voit sous un angle plus petit apparaît plus petit, et égal ce qu'on voit sous un angle égal ;

5° ce qu'on voit sous des rayons (ὑπὸ ... ἀκτίνων) plus hauts apparaît plus haut, ce qu'on voit sous des rayons plus bas apparaît plus bas ;
6° et semblablement (καὶ ὁμοίως), ce qu'on voit sous des rayons plus à droite apparaît plus à droite, ce qu'on voit sous des rayons plus à gauche apparaît plus à gauche ;
7° ce qu'on voit sous un plus grand nombre d'angles apparaît plus précisément.

Notons tout d'abord que ces postulats présents dans G_1 et dans G_2, – avec parfois quelques différences de formulation, notamment pour le premier – ne se trouvent pas tous dans A ou dans K : le cinquième et le sixième sont en effet absents de ces dernières versions. Le fait est d'autant plus troublant que, dans G_1 et dans G_2, ces deux postulats entretiennent des rapports que n'ont pas les autres entre eux : le sixième postulat est introduit sans être vraiment distingué, comme le confirme la présence du terme *semblablement* (ὁμοίως) au début de l'énoncé. On se souvient cependant qu'Euclide a présenté ces postulats comme des *définitions*, lesquelles auraient donc dû être parfaitement distinctes les unes des autres. L'absence de ces postulats des versions A et K tendrait ainsi à renforcer les doutes sur l'authenticité du texte grec transmis.

D'autre part, le quatrième postulat ne se présente pas dans A et dans K comme dans G_1 et dans G_2 : il comprend en même temps le septième. On lit en effet dans A : "ce qu'on voit sous un grand angle apparaît grand, ce qu'on voit sous un petit angle apparaît petit, ce qu'on voit sous des angles nombreux apparaît beaucoup plus, et les choses vues sous des angles égaux apparaissent égales". On vérifiera que cette formulation regroupe, dans G_1 et dans G_2, les deux postulats 4 et 7.

Bref, le texte des postulats liminaires a subi de sérieuses altérations au cours de la transmission manuscrite des différentes versions ; le cinquième et le sixième posent un problème d'authenticité.

À ces incertitudes textuelles s'en ajoutent d'autres portant – le fait est encore plus grave – sur la définition de la notion fondatrice de l'*Optique*. Il s'agit du premier postulat, dont on n'a depuis longtemps cessé de dénoncer l'ambiguïté dans G_1. Voici comment il se présente dans cette version :

> ... τὰς ἀπὸ τοῦ ὄμματος ἐξαγομένας εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημα μεγεθῶν μεγάλων.
> Les lignes droites issues de l'œil se propagent sur l'intervalle de grandes grandeurs,

phrase dont le sens n'est guère satisfaisant. La situation est meilleure dans G_2, ce qui, en soi, ne démontre bien sûr rien sur la filiation historique des textes. On lit en effet :

... τὰς ἀπὸ τοῦ ὄμματος ὄψεις κατ' εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημά τι ποιούσας ἀπ' ἀλλήλων
les rayons visuels issus de l'œil se propagent en lignes droites en faisant un certain intervalle les unes avec les autres.

On note en particulier que, cette fois, le texte mentionne aussi bien "les rayons visuels" (là où G_1 ne parle que des "lignes droites") que les intervalles qui les séparent, lesquels sont nécessaires à la conception euclidienne du "cône visuel".

Enfin, on lit dans la version A :

إن الشعاع يخرج من العين على خطوط مستقيمة مختلفة الأبعاد والمقادير وتحدث به سموت مستقيمة لا نهاية لكثرتها.

Les rayons sont issus de l'œil suivant des lignes droites dont les distances et les grandeurs sont inégales, et par lesquelles s'engendrent des directions droites d'une multitude infinie.[Mss L, fol. 59^v ; I, fol. 81]

Ici interviennent non seulement "les rayons" et "les intervalles", mais aussi l'inégalité des "grandeurs" et l'"infinité", deux notions également essentielles à l'optique euclidienne.

On constate donc que les trois versions se chevauchent sans coïncider. Les deux dernières, G_2 et A, sont sans aucun doute plus proches, mais A est plus complète. La doctrine qui se dégage de ces trois premières hypothèses se fonde sur des rayons visuels issus de l'œil, qui se propagent en lignes droites et entrent en contact avec les visibles. Les rayons émanent tous d'un point de l'œil et divergent à mesure de l'éloignement du visible. Ils définissent ainsi un cône dont le sommet est ce point et la base le visible. À aucun moment Euclide ne s'est expliqué sur la nature de ce cône[3].

On admettra sans peine qu'Euclide était bien en mesure de soulever suffisamment d'objections pour réfuter sa propre doctrine. C'est dire que celle-ci avait, dans son esprit, une source beaucoup plus profonde que l'ignorance des conditions vraies de la vision. Il nous faut, au moins partiellement, connaître ces conditions pour mieux saisir le sens de la doctrine originale et ses transformations aux mains des auteurs postérieurs, et notamment d'al-Kindī.

L'une d'elles provient sans doute de la possibilité offerte par cette doctrine d'appliquer la géométrie à la vision directe. Plus précisément encore, cette doctrine rend possible non pas une quelconque application de la géométrie, mais une application toute particulière, telle que les anciens la concevaient. Il ne s'agit pas de l'application des mathématiques

[3] C'est avec raison qu'Albert Lejeune écrit : "Pour Euclide on ne peut rien affirmer de sûr", *Euclide et Ptolémée : Deux stades de l'optique géométrique grecque* (Louvain, 1948), p. 63.

au sens des "mathématiques mixtes" d'un d'Alembert[4]. Il ne faut pas non plus l'entendre au sens de la "composition des mathématiques et de la physique" comme l'entendra Ibn al-Haytham[5]. C'est l'application de la géométrie à un *organon*[6]. Le rayon visuel n'a chez Euclide que la seule structure géométrique, et ne se réfère délibérément ni à une "physique" de la lumière, ni à une "physiologie" de l'œil. On a remarqué avec raison[7] que les postulats de l'*Optique* n'évoquent ni la nature du rayon visuel, ni celle de la lumière, ni celle de l'œil comme organe de la vision. Nulle part dans son livre, Euclide ne fait la moindre allusion à des doctrines de la lumière et de la vision qui se rapprocheraient des théories platoniciennes. Dans les définitions, il introduit les notions de rayon et de cône visuels, comme il introduit dans la proposition 18 (*l.* 27), sans autre explication, celle de "rayon du soleil" (ἡλίου [...] ἀκτίς), tout cela sans s'attarder sur leurs propriétés respectives. Pour Euclide, "rayon visuel" et "rayon du soleil" sont des segments de droites qui joignent un point-origine (que ce soit l'œil ou le soleil) à un point-objet. Ces segments s'écartent les uns des autres à mesure qu'ils s'éloignent de la source, se prolongent tant qu'ils ne sont pas arrêtés par un objet-obstacle, sont en nombre infini et forment des angles. Rayon visuel et rayon du soleil sont l'un et l'autre des *organa* : le rayon visuel est un instrument pour explorer le visible, pour cerner son contour en termes d'angles, de distance et de direction – autant de notions fondamentales de l'ancienne perspective. Le "rayon du soleil", lui, est un instrument pour explorer la dimension d'un objet. C'est à ce titre seulement que le rayon solaire intervient dans l'*Optique*.

Cette construction géométrique bivalente, conçue à la fois pour le "rayon visuel" et pour le "rayon du soleil", ou simplement, comme on lit dans G_2, pour "toute lumière" (πᾶν φῶς), est fondée sur cette similitude, et non point sur telle ou telle analogie des circonstances. Cette similitude s'appuie elle-même sur une phénoménologie qui unit vision et propagation. Pour Euclide, comme pour ses successeurs avant la réforme d'Ibn al-Haytham, propagation de la lumière et vision ne s'excluent pas mutuellement, mais répondent aux mêmes conditions de possibilité. C'est Ibn al-Haytham, notons-le, qui le premier a distingué nettement et

---

[4] R. Rashed, "Conic Sections and Burning Mirrors: An Example of the Application of Ancient and Classical Mathematics", dans K. Gavroglu *et al.* (eds.), *Physics, Philosophy and the Scientific Community* (Dordrecht, 1995), p. 357-376.

[5] R. Rashed, "Lumière et vision : l'application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham", dans R. Taton (éd), *Roemer et la vitesse de la lumière* (Paris, 1978), p. 19-44 ; repris dans *Optique et mathématiques : Recherches sur l'histoire de la pensée scientifique en arabe*, Variorum Reprints (Aldershot, 1992), IV.

[6] Voir note 4.

[7] G. Simon, *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'antiquité* (Paris, 1988), p. 64. C'est également ce qu'entend A. Lejeune quand il écrit : "L'hypothèse que la théorie du cône visuel n'est primitivement qu'une traduction géométrique de la synaugie de Platon reste invérifiée", *Euclide et Ptolémée*, p. 63.

définitivement entre les conditions de la vision et celles de la propagation[8]. Pour Euclide l'acte de voir s'effectue selon le modèle de l'acte d'éclairer : à partir d'un point, sommet d'un cône formé de droites qui se dispersent dans l'espace et dont la base est la grandeur éclairée, ou vue. La structure de la vision est celle de la propagation à partir d'un point-source. On peut donc tout naturellement emprunter le langage de la propagation pour parler de la vision. Or ceci n'est possible que dans un vide physique et physiologique ou, plus exactement, dans une neutralité physico-physiologique : celle-ci n'est pas seulement une condition pour forger la précédente similitude entre "rayon visuel" et "rayon du soleil", mais c'est aussi un trait distinctif de l'*Optique* d'Euclide. Or c'est précisément sur ces points que vont porter les critiques des mathématiciens et des philosophes comme al-Kindī.

Dans le *De aspectibus* comme dans la *Rectification*, al-Kindī opte globalement pour la doctrine euclidienne de l'émission, mais ne tarde pas à en corriger plusieurs points. L'amendement le plus radical, et qui dès ce moment transformera l'*Optique* d'Euclide, provient du fait que pour al-Kindī, rayon et cône visuels ne sont plus ontologiquement neutres, mais se trouvent bel et bien dotés d'une réalité physique. Voici tout d'abord ce qu'écrit le philosophe dans le *De aspectibus* :

> Or un rayon est l'impression du corps lumineux sur des corps obscurs, <impression> dont le nom est dérivé de celui de la lumière en raison de la transformation des accidents conférés aux corps qui reçoivent cette impression. Donc l'impression, avec ce dans quoi est l'impression, tout cela ensemble est un rayon. Or le corps qui produit l'impression est un corps qui a trois dimensions : longueur, largeur, profondeur. Donc le rayon ne suit pas des lignes droites entre lesquelles il y aurait des intervalles. [*infra*, p. 459, *l.* 6-461, *l.* 13]

Le rayon visuel a donc une réalité physique et celle-ci ne permet plus de concevoir le cône visuel à la manière d'Euclide, c'est-à-dire formé de rayons visuels discrets ; il faut désormais le considérer, à la manière de Ptolémée, comme un volume de radiations continues.

Sur la nature de cette impression, al-Kindī ne s'expliquera pas davantage, soulignant toutefois ici et là l'aspect actif, voire dynamique, du rayon visuel. Celui-ci se présente dans la *Rectification* comme "une puissance lumineuse qui imprime dans tout l'air qu'elle rencontre une luminosité". Le rayon visuel est une "luminosité radiante" (*ḍiā' shuʿāʿī*). Ainsi, outre les termes exprimant l'idée d'activité, peut-on user à bon droit du vocabulaire de la lumière : *nūr* (*lumen*) et *ḍaw'* (*lux*) reviennent régulièrement sous la plume d'al-Kindī. Le cône visuel, enfin, qui est explicitement, chez lui, un cône de révolution, est "comme le membre du

---

[8] R. Rashed, "Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham", *Archive for History of Exact Sciences*, 6.4 (1970), p. 271-298 ; repris dans *id.*, *Optique et mathématiques*, II.

vivant par lequel la pupille sent tout ce qu'il touche des corps"[9]. L'étude de la vision n'a donc pas à affronter la redoutable question de l'action à distance, puisqu'al-Kindī, tout comme ses prédécesseurs, opte pour un modèle tactile.

Ces écarts d'al-Kindī par rapport aux conceptions de l'*Optique* d'Euclide sont d'origines diverses. Si, dans les limites actuelles de nos connaissances, on pourrait ramener sa conception du cône, et le modèle tactile, aux auteurs de l'antiquité tardive, son insistance sur la nature tridimensionnelle du rayon et, plus généralement, sur le contenu physique du cône, semblent bien lui appartenir en propre. Cette conception d'une "puissance lumineuse" qui se disperse dans l'air ambiant sous la forme d'un cône dont le sommet est la pupille se retrouve mot pour mot dans le *Sur les miroirs*[10] du Pseudo-Euclide. Le modèle tactile apparaît dans un tout autre contexte théorique dans les *Problèmes* faussement attribués à Aristote[11], ainsi que chez Galien[12] et chez ses successeurs arabes[13]. Il faudrait noter ici que, pour amender la notion de cône visuel de l'*Optique* d'Euclide, al-Kindī a emprunté certaines modifications apportées à cette notion par les géomètres-opticiens bien postérieurs à Euclide, telles qu'elles se présentent dans la théorie de Ptolémée qui lui est parvenue indirectement [cf. plus loin].

Mais pourquoi al-Kindī a-t-il voulu rectifier la doctrine euclidienne du rayon visuel, alors qu'il ne rejetait pas celle de l'émission ? La question s'impose d'autant plus que la notion de rayon émanant de l'œil n'avait pas de déterminations suffisamment fortes pour entraver la marche de la recherche – hormis celle du point-origine et de la direction. Cette notion de rayon visuel pouvait donc constituer encore à l'époque d'al-Kindī un instrument de recherche utile dans une perspective de type euclidien. On ne peut mieux faire ici que de citer A. Lejeune :

> Du moment que, comme Euclide, on limite l'objet de l'optique à l'aspect purement géométrique des phénomènes, l'hypothèse des rayons visuels fournit à elle seule tous les éléments nécessaires et suffisants pour construire, par voie de déduction, une théorie satisfaisante de la perception visuelle dans l'espace[14].

D'ailleurs, si al-Kindī n'a pas voulu écarter cette notion mais la rectifier, n'est-ce pas la preuve qu'il y trouvait encore quelques avantages ?

---

[9] *Rectification*, p. 163, *l.* 12-18.

[10] Voir note complémentaire à la *Rectification*, p. 337.

[11] [Ps.]-Aristote, *Prob.* III, 10, 872b 4 sqq.

[12] *De placitis Hippocratis et Platonis*, éd. et trad. P. de Lacy, Corpus Graecorum Medicorum VII (Paris, 1978), 5, p. 5-11 ; 5, p. 40, 41 ; 7, p. 16 ; 8, p. 22.

[13] Voir le traité de Qusṭā ibn Lūqā, Appendice II et Ḥunayn ibn Isḥāq, éd. Meyerhof (cité n.30), p. 109-110 du texte arabe.

[14] A. Lejeune, *Euclide et Ptolémée*, p. 31.

Quelles sont donc les raisons qui l'ont incité à prendre le chemin de la rectification ? La première semble relever d'une philosophie naturelle qui déborde amplement le cadre particulier de l'optique. On a récemment souligné[15] une certaine solidarité entre la conception du rayon visuel qui est celle d'al-Kindī, et celle qu'on trouve formulée dans un livre qu'on lui attribue, le *De radiis stellarum*. On y trouve exposée une théorie de la nature qui s'accorderait mal avec la conception euclidienne, purement géométrique, du rayon visuel. On y lit en effet :

> Tout ce qui a une existence actuelle dans le monde des éléments émet des rayons dans toutes les directions, lesquels remplissent à leur manière le monde élémentaire tout entier. Il en résulte que chaque lieu de ce monde contient des rayons de toutes les choses qui existent en acte dans ce monde, et que, de même que les choses diffèrent entre elles, de même les rayons de chacune d'elles diffèrent en effet et en nature des rayons de toutes les autres, ce qui fait que dans toutes les choses diverses l'opération des rayons est diverse[16].

Si toutefois les rayons se distinguent ainsi tant par leur nature que par leur effet, il faudra déterminer à chaque fois les traits distinctifs de tel ou tel d'entre eux, et mettre à jour le contenu physique latent à la notion purement géométrique. Or c'est précisément ce qu'al-Kindī a tenté dans la définition quelque peu obscure du rayon que nous avons lue précédemment, afin de doter la notion géométrique d'un pouvoir d'agir, d'un impact. Indépendamment donc de l'authenticité du *De radiis* (que nous n'avons pas examinée), cette philosophie naturelle dont on reconnaîtra aisément l'importance pour bien des auteurs médiévaux, de Roger Bacon à Robert Grosseteste, convient parfaitement à cette conception du visuel élaborée par al-Kindī.

La seconde raison tient plus directement à l'optique d'al-Kindī. Elle s'est imposée du fait de l'extension prise par l'étude de la propagation de la lumière, telle qu'on la voit à l'œuvre dans le *De aspectibus*. Tout se passe comme si une meilleure connaissance de la propagation des rayons lumineux avait exigé une autre compréhension du rayon visuel, pour que celui-ci soit le digne pendant de celui-là. Le rayon visuel, pour al-Kindī comme pour ses contemporains, est un rayon lumineux parmi d'autres, celui du soleil, du feu ..., mais sans aucun contenu énergétique : il ne chauffe ni ne produit d'ombre. Notons d'ailleurs qu'al-Kindī, dans les textes arabes conservés, ne prononce que rarement le terme de "rayon visuel" (*shuʿāʿ baṣarī*), alors que celui-ci figure bien dans la version arabe de l'*Optique* d'Euclide. La rareté même de son équivalent dans la traduction latine ne peut donc que surprendre et incite à remarquer la circonspection du philosophe face à cette expression. Al-Kindī parle lui-

---

[15] Graziella Federici Vescovini, *Studi sulla prospettiva medievale*, Pubblicazioni della Facoltà di Lettere e Filosofia, vol. XVI, fasc. 1 (Torino, 1965), voir notamment le chapitre intitulé "La tradizione stoica et il pensiero di Alkindi", p. 44 sqq.

[16] *La magie arabe traditionelle*, Introduction et notes bibliographiques par S. Matton, Bibliotheca hermetica (Paris, 1976), p. 89.

même volontiers, mais sans davantage de précisions, de "radiations lumineuses" émanant de l'œil, de "puissance (*quwwa, virtus*) lumineuse", ou, dans la traduction latine, du "rayon de l'œil" (*radius oculi),* le tout relevant plutôt d'une physique qualitative de type aristotélicien, où la "puissance" est celle d'un mouvement et d'une matière.

La troisième raison est plus technique : il fallait réviser la notion de rayon visuel, et donc de cône visuel, pour pouvoir expliquer les différentes régions de concentration des rayons dans l'espace. Nous y reviendrons par la suite.

C'est pour toutes ces raisons qu'al-Kindī commence par refuser la conception d'un cône visuel formé d'un nombre infini de rayons visuels séparé par des intervalles. Le rejet d'al-Kindī diffère cependant de celui que Ptolémée avait déjà opposé à la même notion. Le philosophe n'admet à aucun prix l'idée de l'infini actuel[17] ni, par conséquent, pour former le cône, celle de l'existence d'un nombre infini de rayons visuels, non réduits à des droites géométriques. Géomètre et opticien, al-Kindī conçoit en outre le cône visuel aussi bien comme une puissance qui imprime une luminosité dans tout l'air qu'elle rencontre.

Enfin, les rayons visuels n'ont pas tous pour origine un point à l'intérieur de l'œil, comme chez Euclide ; mais, en revanche, de *tout* point de la surface sphérique de la pupille part un rayon vers tout point – auquel on peut mener une droite – de l'objet. C'est précisément cette nouvelle façon de concevoir la propagation des rayons visuels qui l'a aidé à expliquer la concentration des rayons dans certaines régions de l'espace.

2.2 *Lumière et vision : l'infléchissement physique de l'optique euclidienne*

Al-Kindī, nous l'avons vu plus d'une fois, adresse à l'*Optique* d'Euclide de nombreuses critiques. Elles sont largement déployées, bien que différemment, dans le *De aspectibus* et dans la *Rectification.* L'intention qui préside à ces critiques n'est cependant pas la même. La *Rectification* tente de dévoiler les incohérences de l'*Optique* d'Euclide pour y remédier, tandis que dans le *De aspectibus*, les critiques d'al-Kindī sont autant de moyens pour tracer un chemin qui lui soit propre et élaborer sa contribution personnelle en optique. On comprend donc qu'une même critique puisse n'avoir ni le même sens, ni le même rôle, dans ces deux contextes. Nous avons déjà rencontré certaines de ces critiques, et constaté qu'elles portaient sur les notions fondamentales de l'optique ancienne : rayon visuel, cône visuel, point de la vision dans l'œil, etc. Leur nombre et leur insistance conduisent nécessairement à la question de leur signification profonde : ont-elles conduit al-Kindī à amender la doctrine optique d'Euclide pour la rendre plus cohérente ? ont-elles préparé au

[17] Voir note complémentaire à la *Rectification*, p. 339.

savant de Bagdad la voie permettant de réaménager cette même doctrine ? ou, enfin, l'ont-elles amené à entreprendre ces deux tâches à la fois, selon le livre ? C'est tout naturellement dans le *De aspectibus* qu'il nous faut chercher la réponse.

Le premier contact avec le *De aspectibus* peut surprendre : alors qu'al-Kindī y défend, à sa manière, la doctrine de l'émission, il ne se borne pas à rendre compte de la manière dont les objets apparaissent à l'œil, mais y étudie aussi la propagation de la lumière[18]. À cette dualité s'en superpose une autre : alors qu'il conserve l'attitude traditionnelle selon laquelle vision et propagation de la lumière répondent aux mêmes conditions de possibilité, al-Kindī infléchit dans un sens plus physique l'optique euclidienne, laquelle n'aurait su s'accommoder d'un tel infléchissement. Situation singulière que celle de l'optique d'al-Kindī, où des éléments traditionnels coexistent avec d'autres, bien modernes, sans s'exclure mutuellement. Ne nous en dissimulons pas les enjeux : ici s'amorce une situation conflictuelle qui nécessitera un siècle et demi pour éclater.

Il nous donc faut d'abord comprendre ce qu'est cet infléchissement "physique" de l'optique euclidienne. Deux séries d'arguments, qui dépendent dans une certaine mesure l'une de l'autre, doivent être invoquées : les premiers arguments se réfèrent à la rédaction même du *De aspectibus* et à son organisation, dont les différences avec l'*Optique* d'Euclide sont loin d'être insignifiantes. Il nous restera ensuite à nous arrêter au contenu de certaines propositions.

Le *De aspectibus* est constitué de vingt-quatre propositions se répartissant en plusieurs groupes. Les lignes de partition des groupes entre eux, mais aussi à l'intérieur de ceux-ci, passent presque toujours par l'examen des propriétés de la propagation de la lumière d'une part, de la vision de l'autre. Les notions physiques jouent alors dans cette différenciation un rôle séparateur. Ainsi, le premier groupe comprend les six premières propositions, qui toutes portent sur la lumière et sur sa propagation. Le groupe suivant contient également six propositions, qui cette fois traitent de la vision, et où al-Kindī critique certaines notions euclidiennes. Le troisième est composé de deux propositions, 13 et 14. En 13, al-Kindī établit que la propagation rectiligne de la lumière ne se fait pas dans une direction privilégiée, mais dans toutes les directions ; en 14, il tire quelques corollaires de la proposition précédente, dont le dernier concerne la propagation de la lumière à partir d'un arc de cercle inférieur à un demi-cercle. Cette étude lui permettra ensuite de caractériser les différentes régions du champ visuel. Dans la proposition 15, al-Kindī s'efforce de justifier que l'objet visible n'est pas perçu dans un temps, mais instantanément. Formé de quatre propositions, le groupe suivant révèle un agencement très significatif. Il s'ouvre sur une proposition relative à la réflexion de la lumière sur un miroir plan, c'est

[18] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 441-451.

la proposition 16. La suivante s'occupe toujours de la réflexion sur un miroir plan, mais cette fois pour le rayon visuel. La proposition 18 porte, elle, sur tout rayon, lumineux ou visuel, et examine sa réflexion sur les miroirs sphériques. Cette gradation significative se poursuit avec la proposition 19, où al-Kindī traite des positions des images virtuelles dans le cas du miroir plan, la proposition 20 où il montre que le rayon réfléchi, quel qu'il soit, n'est pas réfléchi dans un temps, et enfin la proposition 21 où il revient sur les positions de l'image. La proposition 22 constitue un groupe à elle seule : al-Kindī y tente d'élaborer le concept de "puissance d'éclairage" de la lumière. Les deux dernières propositions du livre sont destinées à montrer le postulat 4 d'Euclide, tel qu'il se présente dans la tradition de la version K.

Avant de reprendre plus en détail la plupart de ces propositions, nous remarquerons que deux conclusions s'imposent d'elles-mêmes : la propagation des rayons lumineux est désormais non seulement un objet de recherche, en même temps que l'étude de la vision, mais, bien plus, destinée à préparer celle-ci. D'autre part, al-Kindī engage d'ores et déjà la recherche sur quelques propriétés physiques de la lumière, telles que "la puissance d'éclairage", l'augmentation de la densité en fonction de l'addition des sources lumineuses, etc. Il lui arrive enfin de parler de deux rayons à la fois, le rayon lumineux et celui au moyen duquel se fait la vision. La tâche d'al-Kindī en optique ne revient plus à la seule localisation de l'image ou, plus précisément, à la seule détermination géométrique de la localisation de l'image : les tâches se multiplient et se diversifient, sans toutefois qu'al-Kindī se fixe le but de les distinguer nettement. On comprend dès lors pourquoi son *De aspectibus* est si différent de l'*Optique* d'Euclide, sans qu'il rompe cependant tout lien avec elle ; mais on saisit aussi qu'il ne soit pas encore parvenu à cette rigueur théorique atteinte par Ibn al-Haytham après la rupture.

Dans les premières pages du *De aspectibus*, al-Kindī révèle sa conception de l'optique, et propose, en filigrane tout au moins, une méthode pour cette science. L'optique ne peut être qu'"universellement démonstrative" et sa méthode exige que l'on parte "des choses naturelles" avant de passer par "les principes géométriques". C'est dire que l'optique ne doit plus se présenter comme une géométrie, fût-elle une géométrie de la localisation de l'image. Mais elle n'est pas non plus selon l'expression d'Aristote "la partie la plus physique des mathématiques". C'est un terrain où doivent se réunir géométrie et physique. Cette conception du statut de l'optique n'est ni moderne pour l'époque, ni propre à al-Kindī. Elle traverse le prologue du Pseudo-Théon qu'al-Kindī, nous l'avons vu, connaissait sous une forme ou sous une autre. Cette même conception est explicitement formulée par un autre membre de l'équipe d'al-Kindī : Qusṭā ibn Lūqā, qui écrit :

> Des sciences démonstratives, la meilleure est celle à laquelle participent la science physique et la science géométrique, car de la science physique elle

> emprunte la perception sensorielle, et de la science géométrique les démonstrations géométriques. Je n'ai rien trouvé où se réunissent ces deux arts de plus beau ni de plus parfait que la science des rayons, surtout ceux qui sont réfléchis sur les miroirs[19].

Selon ces savants du IXe siècle, en optique ainsi qu'en catoptrique, la bonne méthode requiert que l'on "réunisse" mathématiques et physique. Mais que signifie cette "réunion" ? Nous avons déjà mis en garde contre une confusion avec telle ou telle position ultérieure, d'Ibn al-Haytham à d'Alembert pour ainsi dire. Mais elle ne se confond pas non plus avec cette application des mathématiques qui passe par un *organon*. Cette fois, il y a un rôle dévolu à la physique. Celle-ci ne se distingue plus, comme on a pu le voir avec Euclide, par sa "neutralité" ou son absence. On verra plus loin que la lumière des sources lumineuses se propage, se réfléchit, pénètre les milieux transparents, possède une intensité variable, une "puissance d'éclairage" elle-même objet de gradation.

Tout se passe en effet comme si, pour rectifier l'*Optique* d'Euclide, al-Kindī s'était vu obligé d'en modifier le projet et d'en infléchir le sens dans une direction physique. L'ignorance dans laquelle il était de l'*Optique* de Ptolémée, ignorance certaine même si quelques échos avaient pu lui parvenir[20], l'a amené à reprendre lui-même la tâche de celle-ci et, comme l'a justement écrit D. Lindberg, "to enlarge the theory and invest it with additional physical content"[21]. La seule source historique d'al-Kindī directement identifiable apparaît dans le prologue à G_2, le Pseudo-Théon d'Alexandrie. Celui-ci, nous l'avons noté, tente d'établir la propagation rectiligne de toute lumière (πᾶν φῶς). Il recourt alors aux ombres et à la propagation de la lumière à travers les fenêtres et les ouvertures. Il propose même une expérience et fait passer la lumière à travers une fente taillée dans un panneau. C'est seulement une fois établie cette propagation rectiligne de la lumière que l'auteur revient à la vision ; comme il l'écrit : "Le fait que toute lumière se propage suivant une ligne droite étant sensible et patent pour tout le monde, il [Pseudo-Théon] s'est occupé de l'œil et des rayons qu'il projette ..."[22]. C'est précisément le plan qu'al-Kindī va mettre à exécution. Les remarques hâtives du prologue se présentent désormais comme autant de thèmes à développer et, surtout, à établir par la géométrie. Il consacre alors le dernier quart du *De aspectibus* à des propositions et à des expériences destinées à établir la propagation rectiligne des rayons lumineux.

---

[19] Voir Appendice II, p. 573, *l.* 15-19.

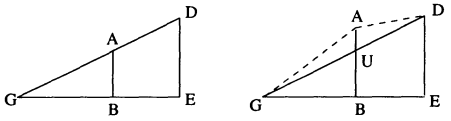
[20] Voir la *Rectification*, p. 173, *l.* 23-25.

[21] D. Lindberg, "Alkindi's Critique of Euclid's Theory of Vision", *Isis*, 62 (1971), p. 469-489, à la p. 474 ; repris dans *Studies in the History of Medieval Optics*, Variorum Reprints (London, 1983), II.

[22] *Euclide. L'optique et la catoptrique. Œuvres traduites pour la première fois du grec en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke* (Paris, 1959), p. 54.

Cet ordre de la rédaction a aussi son importance. Dans la première proposition du *De aspectibus*, al-Kindī montre que, si la source lumineuse et le corps éclairé par cette source sont tous les deux des sphères de même diamètre d, alors l'ombre est cylindrique, et l'ombre portée sur un plan perpendiculaire à l'axe commun est un cercle de même diamètre d. Réciproquement, si le corps éclairé et l'ombre portée sur un plan ont le même diamètre d, alors la source lumineuse est une sphère de diamètre d. Dans la seconde proposition, al-Kindī montre que si la source lumineuse a un diamètre plus grand que celui du corps éclairé, alors l'ombre est un cône et l'ombre portée sur un plan perpendiculaire à l'axe du cône est un cercle de diamètre inférieur à celui du corps. Al-Kindī montre ensuite – proposition 3 – que si la source lumineuse a un diamètre inférieur à celui du corps éclairé, alors l'ombre est un tronc de cône et l'ombre portée par un plan perpendiculaire à l'axe du tronc de cône est un cercle de diamètre supérieur à celui du corps éclairé. Ces trois propositions permettent à al-Kindī de montrer la propagation.

Al-Kindī y joint trois autres propositions, destinées à établir définitivement le même principe. Ainsi, dans la proposition 5, il considère une source lumineuse rectiligne ED (ou même ponctuelle D) et un objet éclairé AB, lui-même rectiligne. Il affirme que, si l'ombre est BG, alors l'expérience donne $\frac{BG}{BA}=\frac{EG}{ED}$, ce qui entraîne que D, A et G sont alignés. Si en effet ils ne l'étaient pas, on trace DG, qui coupe AB en U. Les triangles GBU et GED sont homothétiques, et $\frac{BG}{BU}=\frac{EG}{DE}$. Si on compare les deux rapports, on a $BU = BA$, d'où une contradiction.



Dans la sixième proposition, al-Kindī considère une fente éclairée par une source lumineuse, et établit, à partir de l'image de cette fente, la propagation rectiligne.

Al-Kindī revient encore à la propagation rectiligne dans la proposition 13, où il s'approche bien plus que tout auteur connu avant lui du principe de la propagation rectiligne. Il veut démontrer dans cette proposition que "les corps lumineux ont le pouvoir de transformer l'air qu'ils embrassent, c'est-à-dire qu'ils éclairent tout ce qu'il y a dans la zone qu'ils peuvent éclairer". Si, dans le cas d'une source sphérique, les rayons lumineux se propagent comme s'ils émanaient *uniquement* du centre, l'ombre propre d'un obstacle sphérique conduit à des résultats en contradiction avec ceux obtenus dans les trois premières propositions. De même, il est impossible que les rayons qui émanent de la source soient tous parallèles, d'après les trois premières propositions. Si du corps lumineux ne partent que des

rayons parallèles, dans une direction donnée, tout corps placé en dehors du cylindre défini par cette direction ne peut pas être éclairé. Il n'y a donc pas de direction privilégiée pour la propagation de la lumière à partir d'une source. Al-Kindī montre à l'aide d'un exemple que, s'il y avait des directions particulières de propagation de la lumière à partir d'une source sphérique, alors un même corps sphérique aurait deux ou plusieurs ombres propres en même temps, ce qui est contraire à l'observation. Il énonce à la suite le principe de la propagation rectiligne de la lumière dans toute direction ou, comme il l'écrit :

> Nous avons donc montré sur des exemples comment chaque partie d'un corps lumineux éclaire ce qui est en face d'elle, c'est-à-dire ce à partir de quoi il est possible de mener une ligne <droite> jusqu'à ce <corps>[23].

Dans la proposition suivante, la quatorzième, al-Kindī apporte une précision supplémentaire : les rayons lumineux, émis à partir d'un point *a* d'une surface sphérique, se propagent suivant toutes les directions dans le demi-espace défini par le plan tangent en *a*, et suivant celles-ci seulement.

Par leur nombre, ainsi que par la place qu'elles occupent dans l'économie générale du *De aspectibus*, les propositions que nous venons d'évoquer montrent que l'étude de la propagation rectiligne de la lumière partage désormais à égalité le domaine de la recherche. Cette étude semble être entreprise à la fois pour elle-même, et pour servir de modèle à celle des rayons visuels. On verra incessamment que l'élargissement de la doctrine euclidienne a incité al-Kindī à faire partir les cônes visuels d'un arc de cercle plus petit que le demi-cercle, et à mieux concevoir la notion de champ visuel. Al-Kindī utilise pour les rayons visuels tout ce qui a été établi pour les rayons lumineux sous ce rapport. Cette démarche distingue l'optique d'al-Kindī à la fois logiquement et historiquement. Ainsi, dans l'étude suivante sur la réflexion – propositions 16 et 17 du *De aspectibus* – al-Kindī s'interroge sur "la cause pour laquelle le sens de la vue perçoit les divers <objets> dans les miroirs". Il s'agit donc d'une question qui porte sur la vision. Pour y répondre, al-Kindī traite d'abord de la réflexion des rayons lumineux, pour ensuite étendre les mêmes résultats aux rayons visuels. À cet égard, il se distingue non seulement de ses prédécesseurs grecs, mais aussi de ses contemporains arabes.

Dans la proposition 16, al-Kindī montre que le rayon lumineux incident et le rayon réfléchi forment des angles égaux. Il combine alors la démonstration géométrique – laquelle fait intervenir les propriétés de deux droites parallèles et de la médiatrice d'un segment – et l'expérience (il utilise, pour mettre en évidence les trajets des rayons, des planches parallèles au miroir percées de petits trous).

---

[23] Voir *infra*, p. 483, *l.* 25-27.

Dans la proposition 17, al-Kindī revient alors au rayon visuel à l'aide d'une analogie fondée sur la "nature" du rayon et sur son "mouvement". Il commence par écrire :

> Puis donc que l'air subit de la part de la vue une passion semblable à celle que produisent les parties d'un <corps> lumineux, c'est-à-dire puisque le rayon se propage selon la rectilinéarité des lignes droites, alors le rayon produit par la vision est réfléchi aussi par les corps polis selon des angles égaux[24].

Afin d'établir cette proposition, il élabore les analogies chargées d'assurer les correspondances entre rayon lumineux et rayon visuel, précisant du coup sa propre notion du rayon. Pour al-Kindī, nous l'avons vu, rayon lumineux et rayon visuel sont des "puissances" qui impriment dans l'air ambiant une luminosité. Cette "puissance" ne meut pas – par nature – l'objet sur lequel tombe le rayon. Quant à son mouvement, il a lieu dans chaque cas selon la rectilinéarité des lignes droites. C'est donc un mouvement simple, non composé, qui a un commencement et une fin. Cette dernière peut être située aussi loin que l'on veut, le mouvement est néanmoins fini. Afin d'établir l'égalité des angles pour le rayon visuel, al-Kindī raisonne par l'absurde ; il utilise alors les notions précédentes : la propagation rectiligne est un mouvement simple, non composé, qui ne meut pas le miroir sur lequel tombe le rayon.

Pour apprécier la distance parcourue par al-Kindī, comparons très brièvement sa démarche à celles de ses prédécesseurs et de ses contemporains. Tous ont étudié la réflexion pour le seul rayon visuel ; tel est le cas de Héron d'Alexandrie, tel est aussi le cas de Ptolémée. Le premier, lorsque dans sa *Catoptrique* il établit la loi de la réflexion, se donne un miroir, l'œil et le rayon mené de l'œil[25]. Ptolémée à son tour donne la loi avec une très grande précision pour le rayon visuel. Il écrit que le visible "doit apparaître dans le miroir au point de rencontre du rayon visuel et de la normale menée de l'objet au miroir, que ces deux droites sont situées dans le même plan, puisqu'elles sont concourantes ; que ce plan qui les contient doit être normal à la surface du miroir..., que le rayon visuel réfléchi vers l'objet est dans le plan susdit, et que la normale élevée à la surface du miroir au point de réflexion est l'interaction commune à tous les plans distincts relatifs à la réflexion du rayon visuel"[26].

---

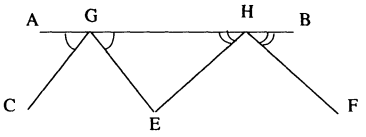
[24] Voir *infra*, p. 495, *l.* 1-4.

[25] Heron Alexandrinus, *Opera quae supersunt omnia*, vol. II : *Mechanica et catoptrica*, éd. L. Nix et W. Schmidt, Bibliotheca Scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana (Leipzig, 1900 ; reprod. Stuttgart, 1976), p. 325-326.

[26] *L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*, Édition critique et exégétique augmentée d'une traduction française et de compléments par Albert Lejeune, Collection de travaux de l'Académie internationale d'histoire des sciences n° 31 (Leiden, 1989), p. 90.

Parmi ses contemporains, on ne peut mieux citer que Qusṭā ibn Lūqā. Celui-ci écrit dans le dixième chapitre de son livre :

> Que signifie la réflexion du rayon sur les corps polis et suivant quels angles se réfléchit-il ?
>
> Le rayon visuel, et même tout rayon, s'il rencontre un corps poli, se réfléchit sur lui suivant des angles égaux ; par "angles égaux", je veux dire que l'angle limité par le rayon émergeant vers le corps poli avec le corps poli est égal à l'angle limité par le rayon réfléchi sur le corps poli, avec le corps poli. Posons pour cela un exemple géométrique pour montrer ce que nous avons dit, c'est-à-dire la réflexion du rayon suivant des angles égaux.
>
> Imaginons une surface polie *AB* et un rayon qui y aboutit à partir du point *E* sous la forme d'un cône *EGH* ; le sommet du cône radiant est donc le point *E* et sa base est *GH*, donc les angles limités par le rayon émergeant vers le corps poli avec le corps poli sont l'angle *EGH* et l'angle *EHG*. Que le rayon *EG* se réfléchisse sur le corps poli suivant la droite *GC* et que le rayon *EH* se réfléchisse sur le corps poli suivant la droite *HF* ; l'angle *EGH* limité par le rayon émergeant de l'œil vers le corps poli est donc égal à l'angle *AGC* limité par le corps poli et le rayon réfléchi. De même l'angle *EHG* est égal à l'angle *BHF* et les rayons *EG* et *EH* se réfléchissent suivant des angles égaux, suivant les deux droites *GC* et *HF*. Nous avons donc montré comment se fait la réflexion du rayon suivant des angles égaux[27].



Ibn Lūqā énonce cette loi, il est vrai, non seulement pour le rayon visuel, mais pour tout rayon, visuel ou non ; il ne la démontre cependant que pour le premier. Avec al-Kindī, nous l'avons noté, l'infléchissement du contenu physique des notions géométriques requiert de doubler chaque fois la démonstration. La propriété est d'abord établie pour le rayon lumineux, puis pour le rayon visuel. Mais cette dimension physique, aussi modeste soit-elle, incite al-Kindī à poser des problèmes que parfois ni lui ni ses successeurs n'étaient en mesure de résoudre. L'un de ces problèmes est celui de la "puissance de l'éclairage" en fonction de l'adjonction des sources lumineuses qui apparaît dans la prop. 22 du *De aspectibus*. Avant d'expliquer pourquoi nous saisissons la lumière des divers objets plus distinctement et plus clairement quand ils sont proches de l'œil que lorqu'ils s'en éloignent, al-Kindī veut démontrer au préalable qu'une source lumineuse a une certaine "puissance d'éclairage" et que le rapport d'une source lumineuse à une de ses parties est égal au rapport de sa puissance totale à la puissance de cette partie. C'est dire que la puissance de l'éclairage est, en outre, un objet de calcul. Al-Kindī cherche à démontrer cette proposition par l'absurde.

---

[27] Voir *infra*, Appendice II, p. 593, *l.* 4-595, *l.* 3.

Soit *ab* une source lumineuse de puissance *gd*, *a* une partie de la source, de puissance *g*, et *b* l'autre partie, de puissance *d*, avec $g + d = gd$ et $a + b = ab$.

Al-Kindī suppose d'abord que

$$\frac{g}{a} > \frac{gd}{ab} \quad \text{et} \quad \frac{d}{b} > \frac{gd}{ab},$$

et écrit ensuite :

Si on combine le rapport, $\frac{gd}{ab}$ serait plus grand que $\frac{gd}{ab}$, ce qui est absurde. Ceci revient en effet à écrire :

$$\frac{g}{gd} > \frac{a}{ab} \quad \text{et} \quad \frac{d}{gd} > \frac{b}{ab},$$

d'où

$$\frac{g+d}{gd} > \frac{a+b}{ab},$$

d'où

$$\frac{gd}{gd} > \frac{ab}{ab},$$

impossible. Il suppose ensuite

$$\frac{g}{a} < \frac{gd}{ab} \quad \text{et} \quad \frac{d}{b} < \frac{gd}{ab},$$

et parvient de même à une impossibilité.

Al-Kindī déduit alors dans cette physique géométrique spéculative de la lumière quelques autres propositions :

1° Le rapport de la puissance d'un corps lumineux à ce corps lumineux est toujours le même.

2° Une puissance donnée fait toujours dans une chose donnée une seule et même impression.

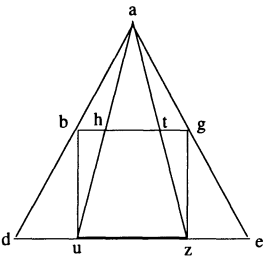
En fait, de ce qui précède, on peut seulement déduire que, si une source *A* a une puissance *a* et si *B* est une partie de *A* ayant une puissance *b*, alors $\frac{a}{A} = \frac{b}{B}$; ce qui n'entraîne pas la constance du rapport $\frac{a}{A}$. Al-Kindī semble vouloir affirmer non pas la constance de ce dernier rapport, mais celle de l'effet *e* d'une puissance *p* sur une chose donnée, c'est-à-dire que $\frac{e}{p}$ est constant.

Al-Kindī montre ensuite que, si un corps est proche d'une source lumineuse, il est mieux éclairé que quand il en est éloigné.

Cette proposition est la même que la seconde de l'*Optique* d'Euclide, à ces différences – capitales – près, que celle-ci traite de la vision, de l'œil, du rayon visuel, et se démontre à l'aide de la notion d'angle de vision ;

alors que celle-là traite de la lumière, de la source lumineuse, du rayon lumineux, et se démontre à l'aide de la notion de "puissance".

Soit en effet la source *a* et le corps *bg*, *de* une parallèle à *bg* coupée en *d* et *e* par les rayons *ab* et *ag* et en *u* et *z* par les perpendiculaires *bu* et *gz* telles que *uz* = *bg*. Al-Kindī montre que le corps placé dans la position *bg* est plus éclairé que celui placé dans la position *uz*.



La démonstration d'al-Kindī passe par ce qui a déjà été établi sur la puisssance d'éclairage, comme on peut le lire plus loin.

Al-Kindī conclut sa proposition en écrivant :

> Donc un corps lumineux imprime dans un corps proche de lui une puissance plus grande que celle qu'il y imprime quand le corps est éloigné. Donc, quand un corps est proche du corps qui l'éclaire, il est nécessairement plus lumineux que lorsqu'il en est éloigné ... Ce que nous voulions démontrer[28].

On observe qu'al-Kindī n'éprouve pas le besoin de revenir sur la vision et sur le rayon visuel, alors qu'il avait annoncé qu'il cherchait à montrer "pourquoi on saisit la lumière de divers <objets> plus distinctement et plus clairement quand ils sont proches de la vue". S'il a jusqu'ici toujours redoublé sa démonstration en établissant pour le rayon visuel la propriété déjà démontrée pour le rayon lumineux, tout se passe cette fois-ci comme s'il suffisait de l'établir pour le rayon lumineux, le reste devant suivre.

C'est ici, sans doute, que s'exprime avec le plus de force ce qu'il y a de spécifique dans l'optique d'al-Kindī, et qui explique ses différences avec celle d'Euclide. Celle-là ne se réduit plus comme celle-ci à une perspective, à une géométrie de la perception, mais glisse déjà sur le terrain de l'optique géométrique, qui pourtant ne sera conquis qu'un siècle et demi plus tard, avec Ibn al-Haytham. C'est en fait une physique qualitative qu'a engendrée l'optique géométrique, comme plus tard avec Ibn al-Haytham celle-ci engendrera une optique physique. L'irruption d'un contenu physique sème les germes d'une mutation, dont la révélation ne se fera qu'au terme d'une action bien plus radicale, une fois éclaté en deux morceaux séparés le complexe "voir-éclairer". Cette partie de

[28] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 519, *l.* 91-97.

l'histoire, nous avons tenté de la décrire ailleurs[29]. Il nous faut à présent revenir à la doctrine de la vision dans l'optique d'al-Kindī.

2.3 *La vision et le réaménagement de la doctrine euclidienne*

Les philosophes et savants de la première moitié du IXe siècle ont connu, du moins dans leurs grandes lignes, les doctrines anciennes de la vision. La traduction de l'*Optique* d'Euclide, celle du *De anima* d'Aristote – au moins en syriaque par Ḥunayn ibn Isḥāq (809-877) –, et surtout celle de plusieurs travaux de Galien par ce dernier, fournissaient suffisamment de sources pour permettre de se familiariser avec les thèses anciennes sur la vision, même si la connaissance doxographique en restait incertaine. Le même Ḥunayn, contemporain et concitoyen d'al-Kindī, avait souligné, à la suite de Galien, les trois groupes que partagent les doctrines de la vision :

> Le corps de ce que l'on voit ne manque pas d'être vu de l'une des trois manières suivantes : la première est qu'il envoie, de lui à nous, une chose par laquelle il se signale lui-même à nous afin que nous connaissions ce qu'il est ; la seconde est qu'il n'envoie rien, mais demeure dans sa position sans discontinuer, tandis qu'une puissance de sensation part de nous et va à lui, grâce à laquelle nous connaissons ce qu'il est ; la troisième est qu'il y a autre chose, aussi bien de notre côté que du sien, intermédiaire entre nous et lui, qui nous procure sa connaissance, afin que nous connaissions ce qu'il est[30].

Ḥunayn engage ensuite la discussion de ces trois doctrines en nous indiquant ce qu'elles recouvrent. D'une manière générale, Ḥunayn sait que dans chaque cas il s'agit d'un signe, envoyé ou reçu, propre à l'objet de la vision. Tout se passe autrement dit comme si ces doctrines de la vision, malgré leurs différences inconciliables, s'occupaient d'une *caractérologie* de l'acte de voir, d'une simple analyse de l'information, sans s'interroger au niveau énergétique. Quoi qu'il en soit, selon Ḥunayn, la première doctrine est celle des intromissionistes, qu'elle passe par les formes (*ṣūra*) des sensibles, ou par leurs simulacres (*šabḥ*) – que l'on se trouve, en d'autres termes, dans une ligne péripatéticienne ou épicurienne. La seconde manière est celle de l'émission, celle des anciens géomètres, plus ou moins enrichie par le *pneuma* stoïcien. Il s'agit pour ainsi dire de la doctrine euclidienne, à laquelle on pourra superposer un élément galénique. À titre d'exemple, au IXe siècle, le contemporain d'al-Kindī, Qusṭā ibn Lūqā, a opté pour une telle doctrine. Ainsi, pour lui, le rayon visuel "se disperse à partir de l'esprit psychique [*al-rūḥ al-*

---

[29] Voir Rashed, "Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham" ; *id. Géométrie et dioptrique au Xe siècle : Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham* (Paris, 1993), p. LXVIII-LXXV.

[30] Ḥunayn ibn Isḥāq, *Kitāb al-'ashar maqālāt fī al-'ayn*, éd. Max Meyerhof dans *The Book of the Ten Treatises on the Eye Ascribed to Hunain ibn Ishâq (809-877 A.D.)* (Le Caire, 1928), p. 103.

nafsāniyya, πνεῦμα ψυχικόν] qui émerge du cerveau jusqu'à la pupille à travers deux nerfs creux qui traversent du cerveau jusqu'aux deux yeux, et il se disperse à partir de l'œil dans l'air jusqu'aux visibles pour être comme l'organe de l'homme"[31]. La troisième manière, qui a la faveur de Ḥunayn, est la doctrine stoïco-galénique selon laquelle le *pneuma* modifie l'air ambiant, le transformant ainsi en un organe de la vision[32].

C'est précisément sur ces trois manières, dans un ordre différent, qu'al-Kindī débute sa discussion de la vision dans le *De aspectibus*, lorsqu'il écrit d'une manière elliptique :

> Je dis donc qu'il est impossible que l'œil ne reçoive pas ses sensibles <soit> par le moyen des formes de ses sensibles qui lui parviennent et se dirigent vers lui, comme l'ont pensé la plupart des Anciens, <formes> qui s'inscrivent en lui ; soit <du fait> qu'une puissance émane de lui vers ses sensibles, grâce à laquelle il les reçoit ; soit de ces deux façons à la fois ; soit <du fait> que les formes de ces <sensibles> sont inscrites et imprimées dans l'air et que l'air les inscrit et imprime dans l'œil, l'œil s'en emparant par sa faculté de recevoir ce que l'air imprime en lui par la médiation de la lumière[33].

Al-Kindī, contrairement à Ḥunayn ibn Isḥāq, et malgré sa place dans la tradition aristotélicienne du néoplatonisme, opte délibérément pour la doctrine de l'émission, avec quelques aménagements et des critiques à l'encontre de toutes les autres. Dans le *De aspectibus*, il dénonce toutes les variantes de la doctrine intromissioniste, alors que dans la *Rectification* il s'efforce de montrer que la pupille a été conformée de manière à émettre des rayons visuels.

Dans le *De aspectibus*, en effet, al-Kindī présente plusieurs arguments contre toutes les variantes des doctrines de l'intromission. Cette critique revient finalement à montrer l'impossibilité de la théorie de l'intromission des formes, l'intromission des totalités non analysables en leurs éléments simples, et le fait que la perception d'un objet est fonction de sa localisation dans l'espace ordinaire. Comme l'écrit D. Lindberg : "In short, al-Kindī sees no means by which the intromission theory, which for him is a theory of coherent forms, can be made compatible with the laws of perspective"[34]. L'argument principal avancé par al-Kindī contre ces doctrines est qu'au cas où elles seraient vraies, "il faudrait alors que des cercles, qui se trouvent dans le même plan que la pupille, se propagent et se dirigent vers elle, et qu'ils soient vus tels qu'ils sont selon leur être propre"[35]. Mais un cercle dans le même plan que l'œil ne sera pas vu dans toute sa circularité[36] : argument qui, nous l'avons vu, est

---

[31] *Ibid.*, p. 581, *l.* 21-23.

[32] *Ibid.*, p. 109. Ḥunayn prend la métaphore "du bâton de l'aveugle", c'est-à-dire que l'air ambiant sera le moyen de la vision comme le bâton est celui de l'aveugle.

[33] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 453, *l.* 4-10.

[34] D. Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler* (Chicago / London, 1976), p. 23.

[35] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 453, *l.* 14-16.

[36] *Ibid.*

emprunté au prologue du Pseudo-Théon. Le second argument d'al-Kindī contre les doctrines intromissionistes porte sur le mouvement local des couleurs. On pourrait croire que la perception des couleurs se ferait grâce à la réception par l'œil des formes des sensibles, puisque celles-ci sont "les limites des couleurs". Mais cette apparence serait trompeuse : les formes ne se déplacent pas, mais les corps illuminés transforment l'air ambiant en lui donnant leurs couleurs. Al-Kindī trouve encore ici une autre preuve de l'émission : la vision se fait par une puissance radiante qui émane de l'œil, et qui transforme l'air suivant des droites.

Al-Kindī poursuit la critique des doctrines intromissionistes ; il emprunte à Aristote[37] l'exemple de la vue des malvoyants qui, en raison de sa faiblesse, est renvoyée par l'air à la pupille; et il tire du *Prologue* la thèse selon laquelle l'organe visuel est doté d'une morphologie conforme à sa fonction : émettre le rayon visuel. À cela, il ajoute d'autres arguments que l'on retrouvera plus loin.

Le philosophe soulève ensuite plusieurs questions relatives à la vision, dont deux sont particulièrement importantes : la variation de la visibilité selon les différentes régions du cône visuel et la vision indirecte. Pour celle-ci, al-Kindī considère deux cas : la vision par réflexion sur les miroirs, qu'il traite dans le *De aspectibus*, et la vision dans un milieu de transparence différente de celle du milieu où se trouve l'œil, dans un opuscule que l'on retrouvera plus loin.

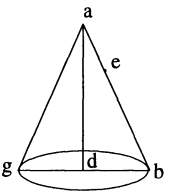
Dans la proposition 8 du *De aspectibus*, al-Kindī note que nous percevons plus distinctement les visibles lorsqu'ils sont au voisinage de l'axe du cône visuel ; et, comme l'œil est mobile, à chacune de ses positions correspond un cône. La pupille dirige donc l'axe de ce cône vers l'objet qu'elle veut regarder.

Pour comprendre la nature de ce phénomène, al-Kindī commence – proposition 12 – par évoquer les opinions des Anciens, sans pourtant les nommer ni fournir quelque indice qui nous permette de le faire sans risque. Quoi qu'il en soit, l'idée principale de ces Anciens est que tout rayon dirigé vers l'objet étant plus grand que l'axe du cône visuel, il s'ensuit que tout point autre que le centre du cercle de base est plus éloigné que le centre, et par conséquent vu moins distinctement que celui-ci. En effet, plus il est éloigné de la vue, plus faible est le rayon qui tombe sur lui, et moins distinct il est vu. Selon ces Anciens, autrement dit, seul l'éloignement du visible est la cause du phénomène que l'on veut expliquer. Or c'est précisément ce qu'al-Kindī rejette ici, en invoquant "les principes des méthodes physiques", lesquels se ramènent pour l'essentiel aux deux suivantes : "ce qui est saisi par la vue indépendamment de la distance est la couleur"[38], d'une part ; la variation de la puissance (ou de l'intensité) du rayon visuel d'autre part, ainsi que

[37] *Météorologiques* III 4, 373b 2-10.
[38] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 469, *l.* 21-23.

des différentes régions du cône visuel. Le pas franchi est considérable, et mérite qu'on s'y arrête.

Al-Kindī tente d'abord, en avançant plusieurs arguments, d'éliminer l'explication par la seule distance. Voici l'un de ces arguments : considérons alors le cône *abg*, *a* son sommet, *d* le centre du cercle de base, *e* un point sur *ab* tel que *ae* < *ad*. D'après la règle de la distance, *ae* < *ad*, donc *e* est vu plus distinctement que *d*. Mais, selon les Anciens, "ce qui est placé au centre de la vision est vu plus distinctement que ce qui est en dehors <du centre>." Donc *d* est vu plus distinctement que *e* ; d'où la contradiction.



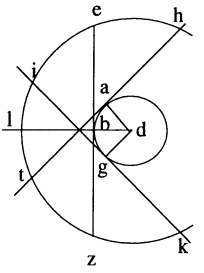
Ce n'est pas la valeur de cet argument, non plus que celle des autres, destinés à réfuter l'explication par la seule distance, qui nous intéresse ici ; mais bien plutôt l'intention critique qui y préside. En tout cas al-Kindī avance ensuite sa propre explication : l'intensité du rayon visuel, sa puissance pour opérer une "transformation". Par "transformation", al-Kindī semble vouloir désigner l'action du rayon visuel qui fait voir le plus nettement les couleurs du visible – c'est-à-dire l'action d'éclairer le visible et l'air ambiant pour faire ressortir au mieux les couleurs. Al-Kindī avait déjà affirmé que les "limites" de celles-ci ne sont rien d'autre que leurs formes. Seule une vue intense, plus forte, voit plus distinctement les couleurs. Il écrit : "Celui des rayons visuels qui a le plus de puissance pour opérer cette transformation saisit plus fortement son <objet> visible"[39]. Mais le rayon le plus fort est celui qui tombe au centre du cercle de base. Ainsi "la puissance" du rayon l'emporte dans cette explication sur la distance, ou, comme l'écrit justement D. Lindberg, al-Kindī "has at least associated clarity of perception with the object's position in the visual field rather than with its distance from the eye"[40].

Mais pourquoi en effet est-ce une lumière forte qui tombe dans la région du cône visuel au voisinage du centre de sa base, et une lumière plus faible à mesure que l'on s'en éloigne ? Al-Kindī ne répond à cette question qu'une fois établie la propagation rectiligne de la lumière dans toute direction à partir d'une surface sphérique – c'est-à-dire dans la proposition 13 du *De aspectibus*, où il montre, nous l'avons vu, que les rayons émis à partir d'un point quelconque d'une surface sphérique se

[39] *Ibid.*, p. 473, *l.* 56-57.
[40] Lindberg, *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*, p. 27.

propagent suivant toutes les directions de la demi-sphère définie par le plan tangent en ce point, et suivant celles-là uniquement. Il ajoute ensuite dans la proposition 14 du même livre deux principes, l'un physique, l'autre morphologique. Selon le premier principe, la lumière croît en intensité en fonction de l'augmentation de la source, c'est-à-dire que la lumière de deux chandelles est plus intense que celle d'une seule chandelle. D'après le principe optique mentionné aussi bien dans le *De aspectibus* que dans la *Rectification*, l'œil est sphérique, mobile ; et de tout point de la pupille, qui est une surface sphérique convexe, émane donc un rayon à tout point auquel on peut mener une droite.

Les éléments avancés par al-Kindī jusqu'ici – exception faite de la morphologie de l'œil – relèvent de thèse de la propagation de la lumière. Mais, comme les conditions de possibilité de la vision et de la propagation de la lumière sont encore les mêmes chez al-Kindī, rien n'empêche d'utiliser ces éléments, y compris le principe physique, pour les rayons visuels, et de répondre à la question précédente pour la vision. Considérons donc un cercle *abg*, de centre *d*, l'œil ; l'arc *abg* la pupille ; et menons les tangentes en *b*, *a* et *g*.



Al-Kindī montre que :

1) La partie *it* appartient à la fois aux trois régions définies par les points *a*, *b* et *g* ; et donc à cette partie aboutissent les rayons partant de ces trois régions de l'œil.
2) Les parties *ie* et *tz* appartiennent chacune à deux régions.
3) Les parties *eh* et *zk* appartiennent chacune à une seule région.
4) Si on prend un plus grand nombre de points, les demi-espaces qui leur sont associés décomposent le champ visuel en un plus grand nombre de régions. La région centrale est celle qui reçoit le plus de rayons ; elle est donc plus visible, et à mesure que l'on s'écarte du point *l* la visibilité diminue.

C'est ainsi qu'al-Kindī explique, en dernière analyse, le phénomène considéré, à savoir que la plus forte visibilité a lieu au voisinage du centre du cercle de base du cône visuel. On se permet d'insister encore une fois

sur ce point : au cours de sa démonstration, al-Kindī utilise ouvertement la propagation rectiligne de la lumière qu'il a établie dans la proposition 13, et ainsi, même lorsqu'il s'agit de la visibilité, il considère des points *à l'extérieur* de la région limitée par le cône visuel. Cette démarche est importante en histoire de l'optique : commencer par considérer le même phénomène de propagation de la lumière, avant de revenir aux rayons visuels. Ceux-ci émanent désormais de tout point de la surface de la pupille à tout point du champ visuel, et on abandonne ainsi l'ancienne correspondance entre rayon et point de l'objet. C'est précisément cette nouvelle conception qui a permis de différencier les rayons du champ visuel. On remarquera aussi l'intervention, même discrète, du sens physique du phénomène : la "puissance" de l'intensité de la radiation. Celle-ci est conçue en quelque sorte de manière graduée, et additive. On notera enfin qu'al-Kindī considère désormais que la *potentia comprehendendi uisibile* n'est pas concentrée en un point, mais qu'elle se trouve sur toute la portion de la surface sphérique : la pupille. Il rompt ainsi avec toutes les variantes connues de la doctrine du rayon et du cône visuels.

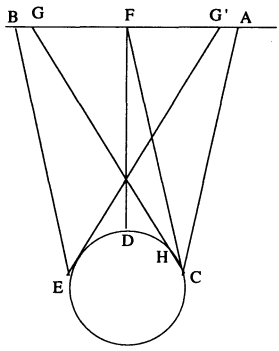
En résumé, al-Kindī s'écarte de toutes les doctrines connues du rayon et du cône visuels sur plusieurs points :

1) La conception du rayon et du cône.
2) La conception de la région virtuellement effective de l'œil.
3) La nature de la correspondance entre chaque point de cette région et chaque point du visible.
4) Si al-Kindī reste dans la tradition "voir, c'est éclairer", il n'en demeure pas moins que l'intervention de considérations physiques d'"intensité" communes à toute lumière est à l'origine d'un long chemin qui aboutira, avec Ibn al-Haytham, à l'éclatement de cette tradition tout entière.

Ce problème de la différence entre les régions du champ visuel et la variation de la visibilité a donc constitué un point de rupture avec l'optique euclidienne. Il n'est ainsi guère surprenant qu'al-Kindī s'y arrête dans la *Rectification*, pour, cette fois, se limiter au cône visuel, puisqu'il s'agit expressément d'un commentaire critique de l'*Optique*. C'est donc là, soulignons-le, un problème lié au précédent sans toutefois lui être identique. Il s'agit de montrer que "ce sur quoi tombent plus de rayons est vu plus distinctement". Dans la *Rectification*, al-Kindī procède de la manière suivante :

Soit CDE la pupille, DF la médiatrice commune à AB et CE ; le faisceau conique de rayons visuels tombant sur le segment AB est limité par CA et EB. Comme l'arc CDE est plus petit qu'un demi-cercle, on peut mener de tout point de celui-ci un rayon jusqu'au point F. Si maintenant la tangente en C coupe AB en G, on peut mener un rayon

visuel du point *C* jusqu'à tout point de *AG*, mais aucun rayon visuel issu de *C* n'atteindra un point entre *B* et *G*. Considérons à présent un point *H* au voisinage de *C* ; aucun rayon issu de *H* n'atteindra un point au voisinage de *B* . Si maintenant la tangente en *E* coupe *AB* en *G'*, aucun rayon issu de *E* n'atteindra un point entre *G'* et *A*.



Il vient donc que, sur chaque point de *GG'* tombent des rayons visuels issus de chaque point de l'arc *EDC* ; mais les rayons visuels tombant sur les points des segments *GB* et *G'A* sont de moins en moins nombreux à mesure que l'on s'approche de *B* ou de *A*. La partie *GG'* du segment *AB* sera vue plus distinctement que les extrémités du segment.

Bref, tout au long de son cheminement, al-Kindī mêle si intimement les points de vue qu'il n'aurait guère pu s'affranchir tout à fait de certaines ambiguïtés. Il ne s'agit pas seulement de l'équivoque de certaines notions ; leur position dans la nouvelle configuration théorique pose aussi problème. Le premier point de vue est celui de la propagation rectiligne dans toutes les directions, à partir de toute source, l'œil compris. Ici, al-Kindī est allé jusqu'à quitter le cadre du cône visuel pour adopter une conception plus avancée du champ visuel. Le second point de vue est celui de l'intensité des rayons, y compris des rayons visuels. Alors que, selon le premier point de vue, il n'y avait pas de direction privilégiée de la radiation, le second privilégie la direction de l'axe. Cette ambiguïté se dissipera d'elle-même lorsqu'on abandonnera la doctrine du rayon visuel. Mais ce n'est pas encore le cas, et al-Kindī consacre la proposition 8, et, plus encore, la proposition 10, du *De aspectibus*, à élaborer cette idée de direction privilégiée. Pour lui, "la puissance émanant de la vue" est plus forte suivant l'axe du cône et diminue à mesure que l'on s'en éloigne. On pourrait cependant faire remarquer que cette notion d'axe visuel, dont on connaît l'importance pour la vision binoculaire, n'est pas fort heureuse, mais qu'elle est parvenue à al-Kindī en héritage, avec celle du cône visuel,

rectifiée. Elle se présente déjà dans l'*Optique* de Ptolémée[41], avant d'être reprise par Damien[42]. Il est d'ailleurs possible qu'al-Kindī en ait eu connaissance par le livre de Théon, qu'il évoque allusivement, et qui comportait quelques échos de l'*Optique* de Ptolémée[43]. Il reste toutefois que cette notion, réinventée par al-Kindī ou reçue des Anciens, fait désormais partie d'une configuration doctrinale différente. Avec le Philosophe de Bagdad les rayons ne sont pas émis d'un point-source dans l'œil ou sur l'œil, mais ils proviennent de tout point de la pupille que l'on peut joindre à l'objet par une droite. Ainsi, le "centre de la vision", pour reprendre la propre expression d'al-Kindī, est précisément le lieu où se rencontrent le plus grand nombre "des parties de la vue" qui l'éclairent. Ce centre est donc éclairé d'autant plus intensément qu'il reçoit plus de rayons que tout autre lieu et, aussi, en vertu du principe physique rappelé par al-Kindī, selon lequel l'intensité de l'éclairage augmente en fonction du nombre des rayons. C'est précisément ce phénomène de la variabilité de concentration des rayons visuels, *irréductible* au cône visuel, qu'al-Kindī a voulu expliquer à l'aide des rayons centraux et des rayons latéraux.

Mais qu'en est-il dès lors du cône visuel et de son sommet ? Dans le Prologue à la *Rectification*, on s'en souvient, al-Kindī parle d'un cône de radiations dont le sommet est "auprès de la pupille" (*'inda al-nāẓir*), terme suffisamment vague. Si l'on s'en tient à ce qu'il affirme dans la proposition 14 du *De aspectibus*, à savoir que de tout point de la pupille des rayons se propagent, on peut également considérer chacun de ces points comme le sommet d'un cône de rayons. On aura, autrement dit, un tronc de cône dont l'une des bases est la pupille, et autant de cônes que de points dans la pupille. Al-Kindī garde un silence total à cet égard ; il ne répond pas à cette question, qu'il ne soulève d'ailleurs même pas. Dans la proposition 1 de la *Rectification*, le raisonnement ne concerne en fait que le tronc de cône. Mais, sur la figure de cette proposition, tel qu'on la retrouve dans le manuscrit aussi bien que dans la compilation d'Ibn 'Īsā, le sommet du cône est marqué, et coïncide avec le centre d'une sphère qui, elle, représente sans aucun doute le globe oculaire. Mieux encore : cette sphère se meut pour se placer chaque fois devant le visible dans la direction la plus avantageuse, c'est-à-dire la perpendiculaire. À tout prendre, ce centre qui n'est pas évoqué dans le texte mais seulement dans la figure de la proposition est un point purement géométrique qui est là, en attente d'être réactivé lorsque, dans les propositions suivantes on fera appel à l'angle de vision, au diamètre apparent ..., c'est-à-dire à toutes les notions nécessaires à la perspective. L'ambiguïté entretenue par al-Kindī à propos du sommet de ce cône ne semble pas être fortuite, mais bien

---

[41] *L'Optique de Claude Ptolémée*, éd. A. Lejeune, p. 19-20 ; 26-27.

[42] Damianos, *Schrift über Optik*, éd. K. Schöne (Berlin, 1897), voir notamment paragraphes 9 et 10.

[43] *Rectification*, p. 173, *l.* 23-25.

fondamentale. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il ne s'explique pas davantage dans le *De aspectibus*. Dans la proposition 9, il affirme qu'il s'agit d'un cône dont le sommet est situé sur la pupille, au lieu d'où émane "la puissance", *cuius extremitas acuta existit apud aspicientem et uirtutis processionem*. Tout ce que l'on peut dire est que l'on garde cette conception du cône et de son sommet, c'est-à-dire le centre du globe oculaire représenté par une sphère dont la pupille est une calotte, pour se ramener aux problèmes de la perspective. C'est à ce titre que ces notions semblent chez al-Kindī de double nature selon le contexte, parfois géométrique et parfois physique. Or c'est précisément cette dualité qui distingue l'optique d'al-Kindī de celle dont il est parti – celle d'Euclide.

Al-Kindī en vient ensuite au problème de la vision indirecte, et d'abord de la vision par réflexion sur les miroirs. Avant de résoudre ce problème, il tente d'abord de "neutraliser" le temps, avec entre autres raisons, sans doute, celle de justifier l'observation commune. Il s'efforce donc, dans la proposition 15 du *De aspectibus*, de montrer qu'il ne s'écoulerait pas de temps entre l'instant où on voit un objet proche et celui où on voit un objet éloigné ; ou, comme il conclut : "Donc les visibles ne sont pas perçus au cours d'un temps". Il établit ensuite les propositions 16, 17, 18 déjà évoquées, relatives à la réflexion de la lumière, du rayon visuel sur les miroirs plans et sphériques. Dans la proposition 19, il s'occupe de la vision par réflexion dans un miroir plan. Au début de cette proposition, al-Kindī s'efforce de réfuter, longuement et à l'aide de nombreux arguments, la doctrine selon laquelle la forme de l'objet s'imprime dans le miroir. Il déclare dans sa conclusion :

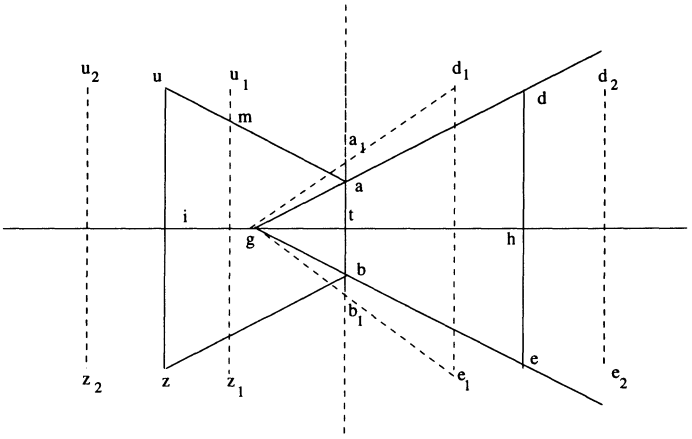
> La seule possibilité restante est donc que les visibles ne soient saisis par l'intermédiaire des miroirs que par une réflexion qui va des miroirs vers les visibles, et par l'incidence ... d'un rayon produit par elle[44].

Reprenons la démonstration d'al-Kindī.

Soit *ab* le miroir, *g* l'œil, *t* le centre du miroir $gt \perp ab$, l'angle *agb* détermine le champ de ce qui est visible dans le miroir. Soit *d* sur *ga* et *e* sur *gb*, tels que $de \perp gt$; et soit *uz* symétrique de *de* par rapport à *ab*.

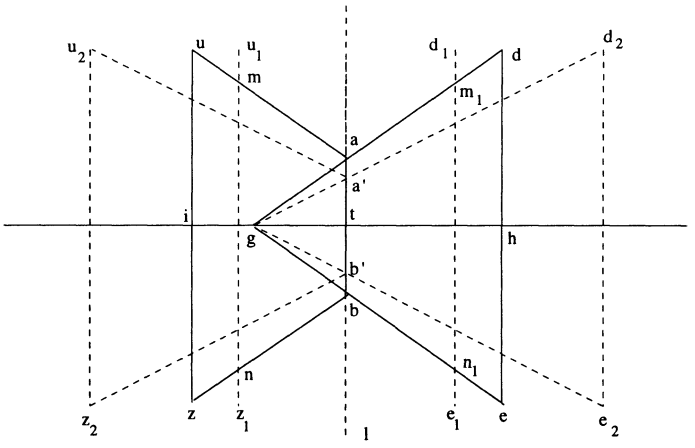
Al-Kindī explique que l'objet *uz* est vu en *de* : il montre que *ga* est réfléchi suivant *au*, et *gb* suivant *bz* ; les égalités d'angles résultent de la symétrie.

[44] Voir *infra*, *De aspectibus*, p. 505, l. 81-85.



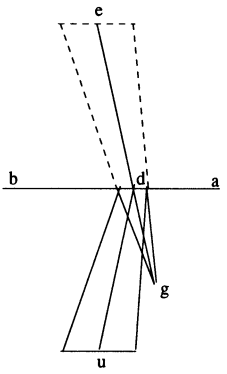
Si à présent l'objet s'approche du miroir dans la position u_1z_1, les images d_1 de u_1 et e_1 de z_1 sont en dehors du cône visuel ; l'œil ne verra donc que la partie *mn*.

Si en revanche l'objet sphérique est dans la position u_2z_2, les images d_2 et e_2 sont à l'intérieur du cône ; l'œil utilise la partie *a'b'* du miroir pour voir l'image d_2e_2. La vision dans le miroir ne se fait donc pas, selon al-Kindī, par l'impression de la forme de l'objet, mais à l'aide de la réflexion du rayon visuel sur le miroir. Ainsi la vision directe ou indirecte, par réflexion, se fait toujours de la même manière.



Al-Kindī se demande ensuite – proposition 21 – pourquoi l'œil voit l'objet dans la position *e* et non dans sa position réelle *u*. Il explique, à partir de l'observation, de la loi de la réflexion et de l'idée que la vision se fait suivant des lignes droites et non suivant des lignes brisées, que

l'objet est vu, non en *u*, qui est sa position réelle, ni au point *d* du miroir, mais au point *e* de la droite *gb*, le point *e* étant symétrique de *u* par rapport au miroir.



Ici comme dans la partie précédente, le moins que l'on puisse dire est que l'étude de la propagation des rayons lumineux a engagé al-Kindī à modifier certaines conceptions fondamentales de l'ancienne doctrine de la vision, sans qu'il ose pourtant jeter par dessus bord la doctrine de l'émission.

Dans l'*Optique* d'Euclide, si lumière et vision étaient intimement liées, éminemment enveloppées dans les mêmes conditions de possibilité, bref, parlant la même langue, c'était pourtant l'étude de la vision qui avait la primauté, même si la lumière et le rayon lumineux, sous sa forme solaire, se trouvaient présents. L'auteur du prologue du Pseudo-Théon n'est pas allé à l'encontre d'Euclide dans son l'étude de la lumière et des ombres, puisque vision et lumière ne s'opposent ni ne se séparent. Le principal résultat fut cette théorie géométrique de la perception visuelle où l'œil est le point-source des lignes de la vision, exposée avec les détails que l'on sait dans l'*Optique* d'Euclide. On n'a pas changé, avec al-Kindī, d'univers optique, à cette différence, capitale, près : l'étude de la propagation prend cette fois le pas et ôte sa préséance à la vision. Un meilleur partage s'opère alors du domaine de l'optique, partage spontané qu'al-Kindī n'a sans doute pas tenté de fonder sur des bases théoriques solides. Mais la nouvelle situation a été génératrice d'amendements de l'*Optique*, devenus *alors* nécessaires. Pour étudier la propagation de la lumière, un minimum de notions physiques semblait requis, qu'il fallait associer aux anciennes notions. Mais à leur tour les résultats obtenus au cours de l'étude de la propagation sont venus modifier la doctrine de la vision, sans toutefois qu'al-Kindī tente explicitement de lier, de quelque manière que ce soit, les propriétés physiques de la propagation au cas de la vision.

Multiformes et constamment présents, ces liens tissés entre lumière et vision apparaissent dans le *De aspectibus* sous la forme d'une recherche

sur la propagation de la lumière, destinée à asseoir une vieille doctrine de la vision, amendée certes, ancienne quoi qu'on en dise. Peut-être est-ce cette dualité entre "modernisme" – qu'on nous passe le terme – et "tradition", qui symbolise le mieux l'optique d'al-Kindī. On pourrait ainsi comprendre qu'à l'égard du complexe "voir-éclairer" dont pour l'essentiel il acceptait, à l'instar de ses prédécesseurs grecs, l'indissociabilité fondamentale, al-Kindī apparaisse encore comme "ancien" ; tandis qu'il sera perçu comme "moderne", dès lors qu'il s'agira du contenu physique et de l'étude de la propagation de la lumière. Euclide ressuscité n'aurait certes pas reconnu son œuvre dans l'optique d'al-Kindī, mais il n'en aurait sans doute pas renié la filiation. De même Ibn al-Haytham n'y aurait pas vu son projet, mais l'étude de la propagation de la lumière notamment lui aurait suggéré une lointaine parenté. C'est dire que l'optique d'al-Kindī est ce terrain singulier où la tradition s'accommode, au sens fort, de la modernité, alors que la seconde n'a ni l'exigence ni la vigueur qu'il faudrait pour tourner le dos à la première. Mais gardons-nous d'aller trop loin. L'optique vraiment moderne pour l'époque, celle d'Ibn al-Haytham, n'a plus que faire du rayon visuel, ou de l'émission, ni d'ailleurs d'accommodements de la propagation et de la vision. Or c'est précisément de tout cela qu'al-Kindī n'a jamais osé se débarrasser, conservant toujours la dualité des tâches, sans les séparer radicalement ni tenter une unification que nous savons du reste impossible. Tout en étant une rénovation de l'optique, la recherche d'al-Kindī est demeurée dans le sillage des Anciens ; mais sans doute est-ce cette situation qui lui a conféré sa plénitude universelle, au sens de son temps, avant la venue d'Ibn al-Haytham.

CHAPITRE III

MIROIRS ARDENTS, CATOPTRIQUE ET LES NOUVELLES RECHERCHES : L'HÉRITAGE HELLÉNISTIQUE D'ANTHÉMIUS DE TRALLES

3.1 *Les rayons solaires*

3.1.1 *Introduction*

Les écrits d'al-Kindī en optique, nous l'avons dit, ne se limitent pas à ses travaux en optique au sens des anciens, ni en catoptrique, mais s'étendent à tous les domaines hérités de l'optique hellénistique. Il s'occupe aussi bien de miroirs ardents, de couleurs que des phénomènes d'optique météorologiques. On n'a d'ailleurs pas suffisamment souligné cette nouvelle position en histoire de l'optique : celle d'un seul et même savant actif dans tous ces domaines à la fois, unifiant, au moins par sa pratique, des champs jusqu'alors disparates. C'est ainsi qu'al-Kindī consacre tout un livre – *Sur les rayons* – aux miroirs ardents.

Comme la plupart des travaux optiques d'al-Kindī, ce livre se situe à la fois dans la continuité des écrits de ses prédécesseurs grecs et byzantins, et contre eux. Il illustre donc une position délibérément choisie par al-Kindī et qu'il a plus d'une fois proclamée[1]. Dans ce livre, al-Kindī entend explicitement remédier aux insuffisances de l'étude d'Anthémius de Tralles, et la compléter. Celui-ci n'a-t-il pas en effet pris pour vérité incontestable la légende selon laquelle Archimède aurait incendié la flotte romaine lors de l'attaque de Syracuse, sans pourtant démontrer que c'était possible ? N'a-t-il pas travaillé à la construction d'un miroir sur lequel vingt-quatre rayons se réfléchissent vers un seul point, sans déterminer rigoureusement la distance de ce point au miroir ?[2] Al-Kindī, qui lui aussi croit à la légende d'Archimède, se propose de reprendre cette tâche, de fournir les démonstrations indispensables, et d'étendre la recherche sur d'autres miroirs, dans quinze propositions qui se partagent en plusieurs groupes qu'il nous faut d'abord rappeler brièvement. Le premier groupe est composé des quatre premières propositions qui ont pour but la construction d'un miroir ardent de forme conique. C'est à cette fin qu'al-

---

[1] Voir par exemple les prologues du *De aspectibus* et de la *Rectification*.

[2] Voir l'introduction des *Rayons solaires*, ainsi que le texte d'Anthémius de Tralles : Περὶ παραδόξων μηχανημάτων dans "Mathematici Graeci Minores", éd. J.L. Heiberg, *Det. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. : Historisk-filologiske Meddelelser* XIII, 3 (Copenhague, 1927), p. 77-87.

Kindī étudie dans les trois premières propositions un système formé de deux miroirs placés sur les faces d'un dièdre.

Le second groupe comprend les sept propositions suivantes qui traitent de la construction des miroirs sphériques concaves. L'axe du miroir est toujours dirigé vers le soleil, et al-Kindī envisage des rayons tombant sur les points du cercle qui limite le miroir ; il montre que les rayons réfléchis correspondants rencontrent l'axe en un même point. Il distingue plusieurs cas, suivant le rapport de l'arc qui définit le miroir au grand cercle de la sphère qui le termine.

Après ce groupe de propositions consacrées au miroir sphérique, al-Kindī revient au problème d'Anthémius de Tralles : la construction d'un système de vingt-cinq miroirs hexagonaux permettant de réfléchir vers un même point les rayons solaires tombant en leur centre.

Dans la proposition 14, al-Kindī veut construire un miroir "beaucoup plus perfectionné que celui d'Anthémius". Ainsi, à partir d'un polygone régulier de vingt-quatre côtés, il construit une pyramide régulière de vingt-quatre faces, pour que les rayons solaires tombant au milieu des bases de ces faces prises comme miroirs soient réfléchis vers un même point de l'axe de la pyramide.

La dernière proposition du livre d'al-Kindī, une fois le texte restitué, n'est autre que la proposition d'Anthémius : construire un miroir de diamètre donné qui réfléchisse les rayons vers un point donné. Le procédé qu'il indique est la construction par points et tangentes d'une parabole dont on connaît le foyer et la directrice.

3.1.2 *La construction des miroirs ardents*

Pour mieux mesurer encore l'extension et l'importance qu'al-Kindī a pu accorder à l'étude des miroirs ardents, revenons au moins rapidement à ces groupes de propositions. Nous pouvons déjà noter à cet égard qu'al-Kindī examine cinq miroirs ardents, davantage donc que ses prédécesseurs hellénistiques[3] ; qu'il se réfère à la traduction du livre d'Anthémius de Tralles (traduction probablement récente à l'époque[4]), mais c'est pour aller bien vite plus loin que lui. Si al-Kindī ne retient pas

---

[3] Al-Kindī écrit, dans les *Rayons solaires*, à propos du gabarit du miroir qu'il propose : "car ce gabarit est plus facile à perfectionner que ceux que nous avons construits ou qu'a construits l'un des anciencs Grecs, constructions dont le témoignage nous est parvenu." [p. 375, *l.* 1-2]

Le pluriel – "l'un des anciens Grecs" – laisse supposer qu'al-Kindī aurait pu connaître d'autres écrits sur les miroirs ardents transmis en arabe. Rien pourtant ne nous permet d'affirmer qu'il a connu les travaux de Dioclès ou de Dtrūms, traduits en arabe, sur les miroirs ardents. Voir plus loin, p. 117 sqq.

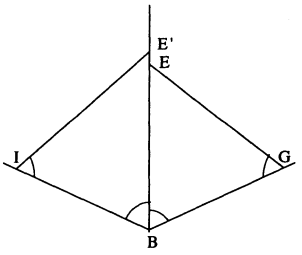
[4] Sur la traduction du texte d'Anthémius de Tralles, voir notre livre à paraître : *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al. sur les miroirs ardents.*

dans son livre l'étude déjà faite par Anthémius du miroir ellipsoïdal[5], c'est, semble-t-il, parce qu'il ne s'intéresse qu'à des miroirs qui peuvent correspondre à la légende d'Archimède, c'est-à-dire susceptibles d'embraser à une certaine distance. Enfin, les successeurs arabes d'al-Kindī, à partir d'Ibn ʿĪsā[6] et de ʿUṭārid[7], lui emprunteront certains résultats en poursuivant très activement cette étude de la propagation des rayons solaires et de leur convergence après réflexion, qui a influencé profondément le développement de l'ensemble de l'optique, comme on le constatera avec Ibn Sahl tout d'abord et ensuite avec Ibn al-Haytham. Mais venons-en maintenant, avant tout autre commentaire, aux différentes propositions.

3.1.2.1 *Miroir conique*

PROPOSITION 1. – Soit *ABC* l'angle plan de sommet *B* d'un dièdre et *BD* sa bissectrice supposée dans la direction du soleil [Fig. 1, p. 364]. Si deux points *G* et *I* des droites *BA* et *BC* sont tels que *BG* = *BI*, alors les rayons solaires tombant en *G* et *I* se réfléchissent sur les faces rencontrant *BD* au même point *E*, centre d'un cercle passant par *G*, *B* et *I*.

Notons qu'al-Kindī veut montrer que les rayons réfléchis en *I* et *G* coupent *BD* au même point *E*. Or dans sa démonstration, il le suppose quand il écrit "*EB* commun". Il a montré que *EBG* est un triangle isocèle. Supposons maintenant que le rayon réfléchi en *I* coupe *BD* en *E'*, on a de la même manière *E'BI* un triangle isocèle. Ces deux triangles ont des bases égales et des angles à la base égaux, ils sont donc égaux ; d'où *E'B* = *EB* et *E'* est confondu avec *E*. Le raisonnement d'al-Kindī est donc exact.



Notons également que le successeur d'al-Kindī, Ibn ʿĪsā[8], reprend le même problème sous une forme un peu différente. Il part d'un arc de cercle dont le centre *I* est donné, et détermine un dièdre par son angle

---

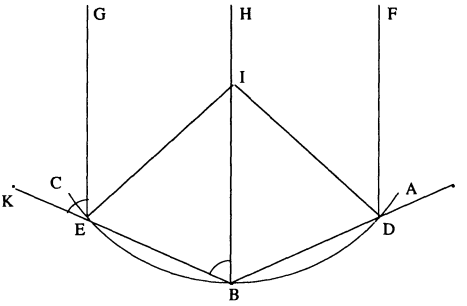
[5] Cf. Anthémius de Tralles, éd. J.L. Heiberg, p. 85-87 ; voir aussi G.L. Huxley, *Anthemius of Tralles : A Study in Later Greek Geometry* (Cambridge, Mass., 1959), p. 17-20.

[6] Sur Ibn ʿĪsā, voir Appendice III qui comprend la compilation du texte d'Anthémius.

[7] Voir R. Rashed, *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al.*

[8] Ibn ʿĪsā, *al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa*, ms. Istanbul, Süleymaniye, Ragip Paşa 934, fol. 29r-30r. Voir Appendice III.

plan EBD tel que EB et BD soient des cordes égales ; I est donc sur la bissectrice de EBD. Alors les rayons GE et FD parallèles à BI se réfléchissent en passant par I.



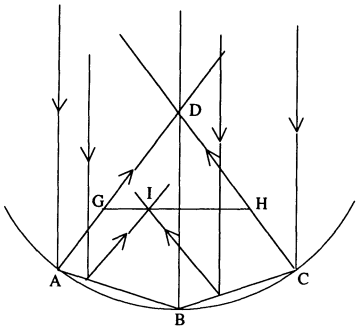
PROPOSITION 2. – Construire l'angle plan d'un dièdre pour qu'un rayon parallèle à sa bissectrice tombant à une distance donnée c du sommet se réfléchisse sur une face du dièdre en passant par un point de la bissectrice à une distance donnée d du sommet.

La proposition précédente permet de construire directement l'angle cherché à l'aide d'un cercle de rayon d, sur lequel on place deux cordes de longueur c ayant une extrémité commune. Il reste que cette distance d peut être très grande. Al-Kindī, pour construire dans ce cas l'angle cherché en utilisant la proposition précédente, prend deux longueurs d' et c' telles que $\frac{d'}{c'} = \frac{d}{c} = k$, et trace un cercle de rayon d' sur lequel il place deux cordes de longueur c' ayant une extrémité commune.

Notons que si 2α est la mesure de l'angle dièdre, on a $\sin \alpha = \frac{c}{2d}$; mais al-Kindī en a seulement donné une construction géométrique.

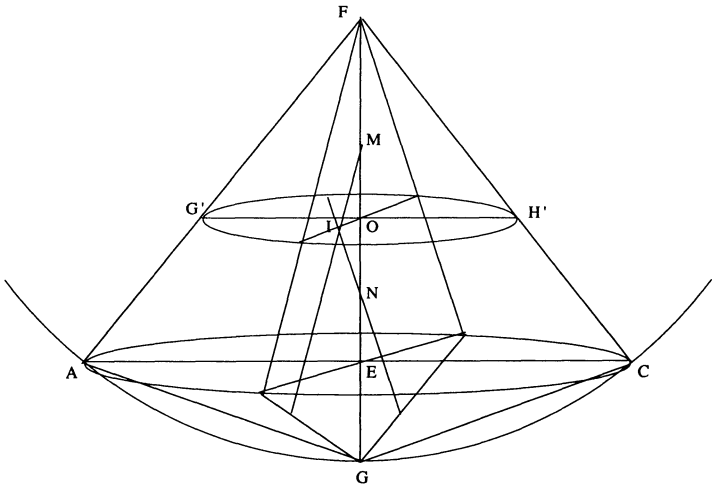
PROPOSITION 3. – Si ABC est l'angle plan d'un dièdre, la bissectrice BD de ABC étant dirigée vers le soleil [Fig. 3, p. 370], on peut déterminer un losange de diagonales BD et GH tel que les rayons réfléchis correspondant aux rayons solaires tombant sur BA d'une part et sur BC d'autre part se croisent deux à deux à l'intérieur du losange.

Pour tout point I du segment GH, il existe deux rayons solaires tombant l'un sur AB, l'autre sur BC, tels que les rayons réfléchis se coupent en I.



PROPOSITION 4. – En utilisant l'étude faite dans les propositions précédentes, al-Kindī montre comment construire un miroir ardent de forme conique.

Il prend comme patron la figure $AGCF$ dans laquelle GF est axe de symétrie et $FA = FG = FC$. Par rotation autour de GF, GA engendre une surface conique de révolution et A décrit le cercle de diamètre AC. Les rayons solaires supposés parallèles à GF, tombant sur les points de ce cercle, se réfléchissent tous en passant par F. Et, d'après la proposition 3, en tout point I du cercle de diamètre $G'H'$ dans le plan médiateur de FG se coupent deux rayons réfléchis qui correspondent à deux rayons solaires tombant sur deux génératrices de la surface conique, génératrices symétriques par rapport à l'axe FG.



Soit O le milieu de GF, les rayons réfléchis qui se coupent en I rencontrent l'axe GF l'un en M, l'autre en N de part et d'autre de O.

Si le point I est voisin de O, les points M et N le seront aussi, il y aura donc une forte concentration de rayons réfléchis au voisinage de O, ce qui correspond à la phrase d'al-Kindī : "à la moitié de la distance <se trouvent> donc les endroits des rayons réfléchis où la chaleur est la plus forte".

Al-Kindī veut aussi montrer que l'on peut calculer la distance de F au centre G du miroir en fonction du rayon R du cercle de centre E qui limite le miroir et de la perpendiculaire $P = EG$. Il y a manifestement dans son raisonnement une erreur, due sans doute à une confusion entre deux points, mais on peut la calculer en considérant deux triangles semblables [voir note complémentaire à la proposition 4] ; on trouve

$$GF = \frac{R^2 + P^2}{2P} ;$$

al-Kindī donne les résultats

$$EF = \frac{R^2}{P} \quad \text{et} \quad GF = \frac{R^2 + P^2}{P}.$$

Remarque. – Le calcul de GF est à rapprocher du calcul de l'angle dièdre dans la proposition 2.

Si on pose $GC = c$, $GF = d$ et $\widehat{AGC} = 2\alpha$, on a $GF = d = \frac{c}{2 \sin \alpha}$.

Mais $\sin \alpha = \frac{P}{c}$, d'où $d = \frac{c^2}{2P} = \frac{R^2 + P^2}{2P}$.

Cette proposition achève le premier groupe. Le second groupe comprend les propositions de 5 à 11.

3.1.2.2 *Miroir sphérique concave*

PROPOSITION 5. – Al-Kindī donne ici une construction simple du rayon réfléchi correspondant à un rayon incident tombant sur un miroir concave en montrant que les cordes que ces rayons déterminent sur la sphère qui complète le miroir sont égales.

Il pouvait en déduire immédiatement que le diamètre issu du point d'incidence est la bissectrice de l'angle des deux rayons, idée qui apparaîtra d'ailleurs dans la proposition 7.

PROPOSITION 6. – Dans le cas où l'axe d'un miroir concave est dirigé vers le soleil, al-Kindī montre que :

(a) Le seul rayon solaire qui se réfléchit sur lui-même est celui qui tombe sur le miroir suivant cet axe. À tout autre rayon solaire correspond un rayon réfléchi qui rencontre l'axe.

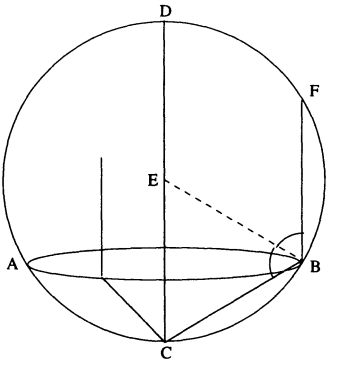
(b) Si deux rayons solaires tombant sur le miroir sont symétriques par rapport à l'axe du miroir, les rayons réfléchis correspondants se rencontrent sur cet axe.

Al-Kindī en déduit que tous les rayons incidents parallèles à l'axe d'un cercle qui tombent sur ce cercle se réfléchissent tous vers un même point de l'axe.

PROPOSITION 7. – Dans cette proposition, al-Kindī veut déterminer le point de rencontre d'un rayon réfléchi avec l'axe du miroir. Mais en fait, il n'ajoute rien à ce qui a été dit dans la proposition précédente. Cette détermination est reprise dans les propositions 10 et 11.

En effet, al-Kindī n'introduit dans cette proposition rien de nouveau. La construction indiquée est celle qui résulte de la loi plusieurs fois énoncée ici : le rayon incident et le rayon réfléchi font des angles égaux avec la surface réfléchissante, loi utilisée pour les miroirs sphériques dans les propositions 5 et 6. Remarquons cependant que le raisonnement d'al-Kindī met en évidence l'égalité des angles du rayon incident et du rayon réfléchi avec la normale à la surface réfléchissante, autre forme de la loi précédente.

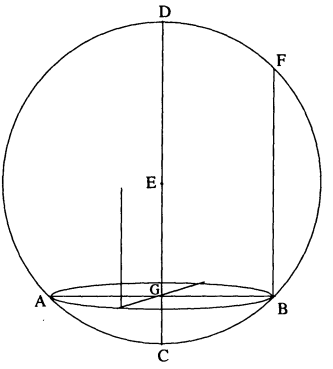
PROPOSITION 8. – Si l'axe d'un miroir concave est dirigé vers le soleil et si l'arc de milieu *C* qui le définit est un tiers du grand cercle de la sphère qui achève le miroir, alors tout rayon solaire tombant sur le pourtour du miroir se réfléchit en passant par *C*, d'où l'embrasement en *C*.



Notons que cette proposition a été reprise par Ibn ʿĪsā dans sa compilation[9].

[9] Voir Appendice III.

PROPOSITION 9. – Si l'axe d'un miroir concave est dirigé vers le soleil et si l'arc qui le définit est un quart du grand cercle de la sphère qui l'achève, alors tout rayon solaire tombant sur le cercle qui limite ce miroir se réfléchit en passant par le centre de ce cercle, d'où l'embrasement au centre.



PROPOSITION 10. – Soit un miroir concave défini par l'arc *ACB*, l'axe *CD* du miroir étant dirigé vers le soleil. Al-Kindī établit les résultats suivants :

(a) Pour tout couple de rayons solaires tels que *AG* et *BF*, symétriques par rapport à l'axe du miroir et rencontrant le grand cercle contenu dans leur plan en *G* et *F*, les "extrémités alternées", c'est-à-dire les points *A* et *F* d'une part et *B* et *G* d'autre part, sont diamétralement opposés. [Cf. Fig. 10 a, b, c, p. 392]

(b) L'arc délimité sur le grand cercle par le rayon solaire et le rayon réfléchi tombant sur le bord du miroir est double de l'arc *AB* qui définit le miroir

$$\overset{\frown}{FDH} = 2\ \overset{\frown}{BCA}.$$

Remarquons que, réciproquement, si *FB* est un rayon incident, perpendiculaire au plan du cercle de diamètre *AB* qui limite le miroir, et si $\overset{\frown}{FDH} = 2\ \overset{\frown}{BCA}$, alors *BH* est le rayon réfléchi.

Al-Kindī semble tacitement supposer que les résultats sont vrais quelle que soit la taille du miroir. Remarquons que :

si $\overset{\frown}{BCA} = \frac{1}{4}$ de circonférence, *H* se confond avec *A* [cf. prop. 8] ;

si $\overset{\frown}{BCA} < \frac{1}{4}$ de circonférence, $H \in \overset{\frown}{AG}$ [cf. Fig. 10 d, 394];

si $\overset{\frown}{BCA} > \frac{1}{4}$ de circonférence, $H \in \overset{\frown}{BA}$ [cf. Fig. 10 a, b, c, p. 392] ;

les deux démonstrations – directe et réciproque – sont immédiates. Il semble y avoir dans le texte consacré à la proposition directe un mélange des deux démonstrations.

(c) Si l'arc $\overset{\frown}{ACB}$ est connu, alors l'arc $\overset{\frown}{FB}$ est connu et l'arc $\overset{\frown}{HA}$ l'est aussi. En effet, $\overset{\frown}{ACB} = \alpha \Rightarrow \overset{\frown}{FB} = \pi - \alpha$ et $\overset{\frown}{HA} = |\pi - 2\alpha|$.

Al-Kindī suppose $\overset{\frown}{ACB}$ connu et déduit $\overset{\frown}{FB}$ connu et l'excédent de $\overset{\frown}{FB}$ sur $\overset{\frown}{ACB}$ connu. Le mot "excédent" laisse supposer $\overset{\frown}{FB} > \overset{\frown}{ACB}$; or

si $\overset{\frown}{BCA} = \frac{1}{4}$ de circonférence, on a $\overset{\frown}{FB} = \overset{\frown}{ACB}$ et $\overset{\frown}{HA} = 0$;

si $\overset{\frown}{BCA} < \frac{1}{4}$ de circonférence, on a $\overset{\frown}{FB} > \overset{\frown}{ACB}$, $\overset{\frown}{HA} = \overset{\frown}{FB} - \overset{\frown}{ACB}$;

si $\overset{\frown}{BCA} > \frac{1}{4}$ de circonférence, on a $\overset{\frown}{FB} < \overset{\frown}{ACB}$, $\overset{\frown}{HA} = \overset{\frown}{ACB} - \overset{\frown}{FB}$.

(d) Al-Kindī revient à la détermination du point de rencontre du rayon réfléchi avec l'axe du miroir. La construction de ce point est déjà connue; al-Kindī étudie la distance de ce point au centre du cercle qui limite le miroir. Le calcul est fait dans le cas où $\overset{\frown}{ACB} < \frac{1}{4}$ de circonférence. Le point M est alors entre L et E, [cf. Fig. 10 d, p. 394] et

$$\frac{BL}{LM} = \frac{HJ}{BJ} = \frac{AB + HK}{BJ},$$

d'où

$$LM = \frac{BJ \times BL}{AB + HK} = BL \times \frac{BJ}{HJ}. \tag{1}$$

Remarque. – Pour comprendre l'intérêt de ce calcul, posons

$$\overset{\frown}{BCA} = \alpha \qquad \left(\alpha < \frac{\pi}{2}\right)$$

$$LM = BL \operatorname{tg} \overset{\frown}{MBL} \tag{2}$$

$$\overset{\frown}{BF} = \overset{\frown}{BH} = \pi - \alpha \Rightarrow \overset{\frown}{AH} = \pi - 2\alpha, \overset{\frown}{MBL} = \frac{\pi}{2} - \alpha.$$

Si R est le rayon de la sphère, on a

$$BL = R \sin \frac{\alpha}{2},$$

d'où

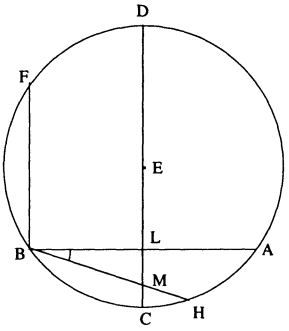
$$LM = R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{cotg} \alpha = \frac{R}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \frac{\alpha}{2}}.$$

Maintenant

si $\alpha = \frac{\pi}{2}$, on a $LM = 0$ (proposition 9).

Si $\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{2\pi}{3}$, M est entre L et C, et on a $\widehat{MBL} = \alpha - \frac{\pi}{2}$.

$$LM = -R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{cotg} \alpha = \frac{R}{2} \times \frac{|\cos \alpha|}{\cos \frac{\alpha}{2}}.$$



Si $\alpha = \frac{2\pi}{3}$, dans ce cas M est en C et L au milieu de EC,

$$LM = \frac{R}{2}$$ (proposition 8).

Si $\alpha > \frac{2\pi}{3}$, le point H est sur $\widehat{BC}$ et il y a une seconde réflexion sur le miroir, comme on le verra dans la proposition suivante.

Ainsi tout se passe comme si al-Kindī connaissait une relation telle que

$$LM = \pm R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{cotg} \alpha,$$

et les relations entre arcs et segments laissent supposer qu'il connaissait certains rapports trigonométriques.

PROPOSITION 11. – Soit un miroir concave défini par l'arc ACB, et dont l'axe CD est dirigé vers le soleil [Fig. 11a et 11b, p. 396-398].

(a) Al-Kindī montre que si

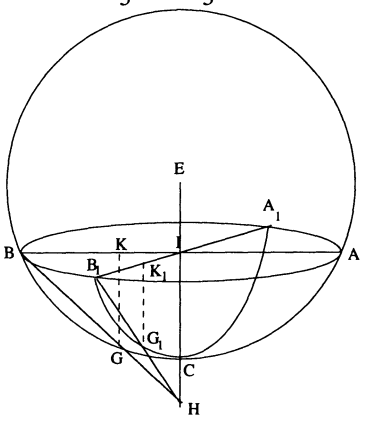
$$\frac{2\pi}{3} < \widehat{AB} < \pi,$$

un rayon solaire tombant en un point du pourtour de ce miroir est réfléchi vers un point de l'axe situé au delà du sommet C, le miroir étant entre ce point et le soleil.

(b) Il étudie la distance de ce point au centre du cercle qui limite le miroir. Le calcul de HI se fait comme le calcul de LM dans le dernier paragraphe (d) de la proposition précédente. Le rapport $\frac{IH}{BH} = \frac{GK}{BK}$ est connu si on connaît $\alpha = \widehat{AB}$.

Remarques.

(1) Al-Kindī dans cette proposition étend les résultats obtenus dans sa proposition 10.d pour $0 < \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$ à $\frac{2\pi}{3} < \alpha < \pi$.



Le rapport $\frac{HI}{BI}$ est connu si on connaît $\widehat{AB} = \alpha \quad [\frac{2\pi}{3} < \alpha < \pi]$; on a

$$\frac{HI}{BI} = \frac{GK}{BK}$$

et

$$BI = R \sin \frac{\alpha}{2} ;$$

or

$$\widehat{BF} = \widehat{BG} = \pi - \alpha,$$

d'où

$$\widehat{GA} = 2\alpha - \pi, \widehat{KBG} = \alpha - \frac{\pi}{2} .$$

on a

$$HI = -R \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{cotg} \alpha = \frac{R}{2} \frac{|\cos \alpha|}{\cos \frac{\alpha}{2}}.$$

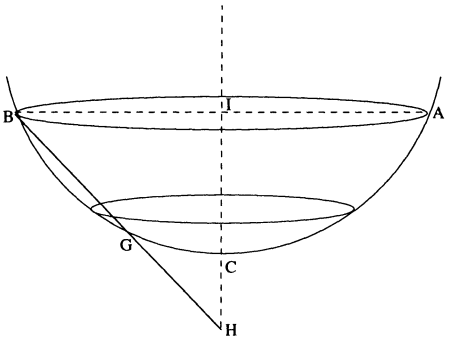
(2) Dans sa construction, al-Kindī veut généraliser le résultat établi pour le rayon réfléchi au point B ;

$$\frac{IH}{BI} = \frac{KG}{BK} \quad \text{(relation qui détermine } IH\text{)}.$$

Pour tout point B_1 du cercle qui limite le miroir, on aura

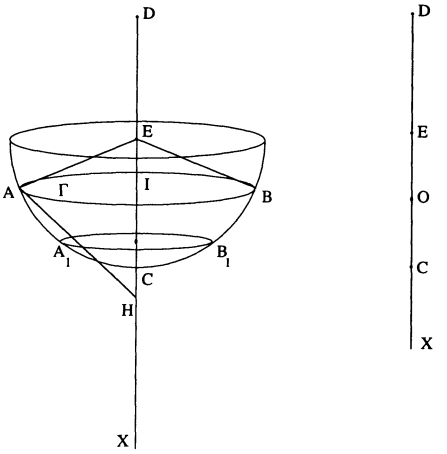
$$BI = B_1I, \quad KG = K_1G_1, \quad BK = B_1K_1$$

et le point H sera le même. Les rayons réfléchis en tous les points du cercle qui limite le miroir passeront par le même point H, si on a fait une ouverture suffisante en enlevant une calotte du miroir sphérique.



Al-Kindī vient donc d'achever une étude extensive pour l'époque, du miroir sphérique concave au cours de ces sept dernières propositions. Dans cette étude, al-Kindī a toujours considéré l'axe du miroir dirigé vers le soleil ; il envisage des rayons tombant sur les points du cercle qui limite les miroirs et montre que les rayons réfléchis correspondants rencontrent l'axe en un même point H. Il distingue alors plusieurs cas suivant le rapport de l'arc AB qui définit le miroir au grand cercle de la sphère, ce qui revient à considérer un miroir sphérique concave d'axe CD ayant la forme d'une demi-sphère, et à considérer sur ce miroir des cercles d'axe CD.

Soit Γ un de ces cercles et I son centre, E le centre de la sphère, R son rayon et O le milieu de EC. Les résultats provenant de l'étude d'al-Kindī peuvent être résumés ainsi :



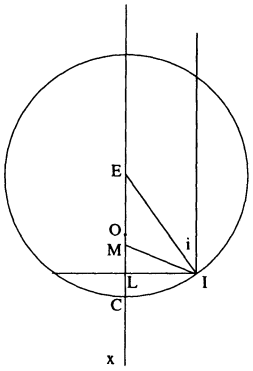
(1) Le rayon solaire tombant en un point A d'un cercle Γ est réfléchi vers un point H de l'axe CD.
(2) Le point H reste fixe quand A décrit Γ.
(3) Le point H dépend de l'arc AB qui correspond à ce cercle Γ, donc de l'angle $AEB = \alpha$.
(4) H décrit OC quand $\alpha \in [0, \frac{2\pi}{3}]$.
(5) Quand $\alpha \in [\frac{2\pi}{3}, \pi]$, le point H vers lequel se dirige le rayon réfléchi appartient à la demi-droite CX.
(6) La distance du point H au centre du cercle Γ est connue quand on connaît l'arc AB. On a établi que $IH = R \sin \frac{\alpha}{2} |\text{cotg } \alpha|$.

Al-Kindī parvient donc à la conséquence suivante : pour un miroir limité par un arc AB tel que $\overset{\frown}{AB} = \frac{2\pi}{3}$, les rayons réfléchis correspondant à *tous* les rayons solaires tombant sur ce miroir se concentrent sur le segment OC.

Les rayons tombant au *voisinage* de C se réfléchissent en passant au *voisinage* de O. Si $\frac{2\pi}{3} < \overset{\frown}{AB} < \pi$ et si l'on veut que les rayons réfléchis rencontrent effectivement l'axe, il faut enlever une calotte de centre C ; sinon, après deux ou plusieurs réflexions, le rayon rencontrera l'axe entre O et C.

Remarquons enfin qu'al-Kindī calcule la distance notée LM dans la proposition 10, et notée HI dans la proposition 11. Il reste que L, dans la proposition 10, et I, dans la proposition 11, varient en fonction de l'incidence i du rayon solaire ; alors que le centre de la sphère est un

point fixe. Il aurait été plus simple de déterminer la position de M, dans la proposition 10, ou de H, dans la proposition 11, par leur distance à ce centre. Prenons le cas de la proposition 10, le triangle EIM est isocèle, donc



$$EM = \frac{R}{2\cos i} = \frac{R}{2\cos\frac{\alpha}{2}} ;$$

comme al-Kindī fait varier α de 0 à π, on aura le tableau suivant :

α	0	$\frac{2\pi}{3}$	π
$\frac{\alpha}{2}$	0	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
$\cos\frac{\alpha}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0
$\frac{R}{2\cos\frac{\alpha}{2}}$	$\frac{R}{2}$	R	$+\infty$

Donc M décrit la demi-droite Ox, O milieu de EC, et pour $\frac{2\pi}{3} < \alpha < \pi$ le point M est à l'extérieur de la sphère. On a alors

$$LM = |EM - EL| = \left| \frac{R}{2\cos\frac{\alpha}{2}} - R\cos\frac{\alpha}{2} \right| = \frac{R}{2} \cdot \frac{\left|1 - 2\cos\frac{\alpha}{2}\right|}{\cos\frac{\alpha}{2}} = \frac{R}{2} \cdot \frac{|\cos\alpha|}{\cos\frac{\alpha}{2}} .$$

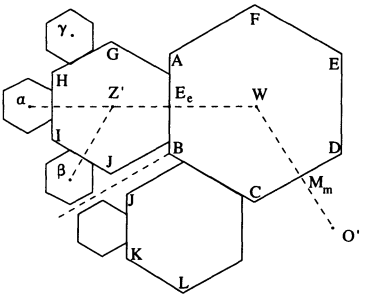
3.1.2.3 *Un système de miroirs hexagonaux*

PROPOSITION 12. – Al-Kindī revient alors au problème d'Anthémius et construit un système de vingt-cinq miroirs hexagonaux permettant de réfléchir vers un même point les rayons solaires tombant en leur centre.

Si les rayons solaires sont parallèles à l'axe du miroir central, on montre que pour 13 miroirs le problème est simple et conduit à un point R sur lequel tombent les rayons réfléchis correspondants. Il reste que pour les 12 autres miroirs, on rencontre la même difficulté que nous avons signalée pour Anthémius[10] ; les rayons considérés se réfléchissent vers un point différent de celui obtenu pour les 13 premiers miroirs, point situé sur l'axe du système et voisin du point R.

Remarques. – La démonstration d'al-Kindī est vraie pour les six miroirs entourant le miroir central, mais il a affirmé, à son tour, sans démonstration qu'elle reste vraie pour les autres, ce qui n'est pas tout à fait exact.

En effet, les six hexagones qui entourent $ABCDEF$ sont un peu plus petits que lui pour qu'on puisse leur donner une inclinaison par rapport au plan $ABCDEF$. On a alors $Z'E_e = O'M_m < WE_e$, ce qui ne gêne en rien le raisonnement qui s'appuie sur $WE_e = WM_m$ et $Z'E_e = O'M_m$.



Les 18 miroirs hexagonaux qui entourent les six miroirs hexagonaux précédents devront être beaucoup plus petits, pour qu'il soit possible de les articuler autour des charnières.

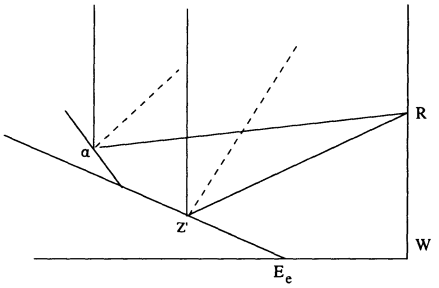
Al-Kindī étudie la réflexion des rayons solaires tombant au centre des sept premiers miroirs et montre que si les inclinaisons des 6 miroirs qui entourent le premier sur celui-ci sont égales, les rayons réfléchis passent tous en un même point R de l'axe du premier miroir.

Parmi les 18 miroirs restants, il faut d'abord considérer ceux qui, comme le miroir construit sur IH, ont leur axe dans le plan médiateur d'un côté de l'hexagone central (en effet IH et AB ont le même plan médiateur). Pour un tel miroir, comme le montre la figure, on peut

---

[10] Voir R. Rashed, *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al.*

choisir l'inclinaison de sorte que le rayon solaire tombant au centre du miroir soit réfléchi vers le point *R*. Ces miroirs sont au nombre de six.



Mais le problème est différent dans le cas d'un miroir semblable à celui qui est construit sur *IJ* ; soit β son centre. Son axe est dans le plan médiateur de *IJ* ; il rencontre donc l'axe de l'hexagone *Z'* et, comme on l'a souligné dans les commentaires sur les systèmes de miroirs hexagonaux chez Anthémius, il est possible de choisir l'inclinaison de ce miroir pour que son axe rencontre l'axe du miroir central et dans ce cas le rayon qui est réfléchi au point β rencontre aussi cet axe mais en un point *R'*, en général différent de *R*.

3.1.2.4 *Miroir pyramidal ou conique*

L'étude du miroir pyramidal ou conique dans ce traité commence par la proposition 13 qui est un simple lemme pour la proposition suivante.

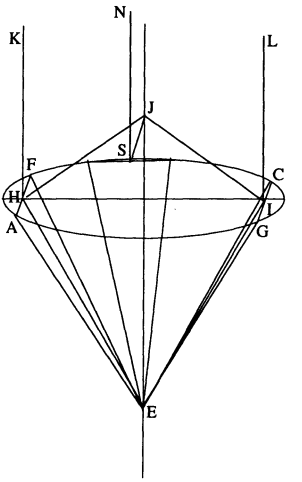
PROPOSITION 13. – Trois parallèles équidistantes *AB*, *CD*, *EF* [Fig. 13, p. 408] sont perpendiculaires à une même droite *FDB* ; il est évident que *CD*, médiatrice de *FB*, est axe de symétrie pour la figure. Il s'ensuit que pour tout point *G* de cet axe l'angle *FGB* a pour bissectrice cet axe lui-même.

Dans la proposition 14, al-Kindī veut construire un miroir "beaucoup plus perfectionné que celui d'Anthémius". Le texte de la proposition est malheureusement tronqué à la fin, ce qui pose un problème que nous envisagerons incessamment.

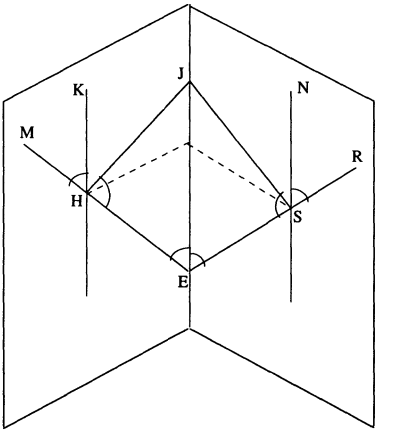
À partir d'un polygone régulier de 24 côtés, al-Kindī construit une pyramide régulière de 24 faces pour que les rayons solaires tombant au milieu des bases de ces faces prises comme miroirs soient réfléchis vers un même point *J* de l'axe de la pyramide. Il définit ce point *J* en considérant deux faces symétriques par rapport à l'axe, mais ne montre pas que le point *J* reste le même si on prend une face quelconque [Fig. 14, p. 410].

Remarquons tout de suite que le résultat est immédiat si l'on tient compte des plans de symétrie de la pyramide régulière.

Remarques.
(1) Al-Kindī a montré que les rayons *KH* et *LI* réfléchis en *H* et en *I* respectivement sur les plans *AEF* et *GEC* du miroir se rencontrent en *J* sur l'axe du miroir. Les droites *KH*, *LI* et *EJ* sont dans un même plan comme dans la proposition 13.



(2) La démonstration n'est cependant pas complète ; pour l'achever, il faut montrer que si *S* est le milieu de la base d'une face quelconque du miroir, le rayon *NS* se réfléchit sur cette face de *S* vers *J*. Nous ne sommes plus dans les conditions du lemme 13, mais nous pouvons raisonner d'une manière analogue à celle d'al-Kindī.



En effet, soit *R* sur le prolongement de *ES*, le rayon *NS* est parallèle à *EJ*, l'angle *NSR* est donc égal à l'angle *JES*, qui est égal à *JEH*. D'autre part, la droite *EH* est égale à la droite *ES* et la droite *EJ* est commune aux deux triangles *EJH* et *EJS* ; ces deux triangles sont donc égaux ; leurs angles homologues sont égaux, *JSE* est donc égal à *JHE* qui est lui-même égal à *JEH*. Par conséquent, les angles *NSR* et *JSE* sont égaux puisqu'ils sont égaux à l'angle *JEH*, le rayon *NS* se réfléchit donc en *S* suivant la droite *SJ*.

Ainsi les vingt-quatre rayons solaires réfléchis au milieu des côtés du polygone limitant les faces du miroir, passent tous par un même point de l'axe de ce miroir.

(3) Dans cette proposition 14, al-Kindī reprend le dernier problème d'Anthémius[11], celui d'un miroir construit à partir d'un bassin et de 24 arcs égaux pris sur le pourtour de ce bassin. Anthémius décrit le miroir et indique globalement comment les rayons se réfléchissent sur les faces de ce miroir, sans toutefois donner aucune démonstration à cet endroit, plus encore son texte ne se distingue pas par sa clarté. Al-Kindī, en revanche, a non seulement explicité l'idée, mais il a donné une démonstration détaillée pour les rayons, qui, après réflexion, convergent en un point de l'axe du miroir.

Malheureusement, il s'est arrêté à la pyramide qui lui donne 24 rayons. A-t-il ainsi procédé pour résoudre le problème d'Anthémius ? ou est-il allé plus loin en doublant indéfiniment le nombre des faces de la pyramide pour obtenir un miroir conique, déjà étudié dans la proposition 4 ? La fin du texte de la proposition 14 est perdue, ce qui nous prive d'une réponse certaine.

3.1.2.5 *Miroir parabolique*

Dans la proposition 15, la dernière de son traité, al-Kindī reprend la proposition d'Anthémius sur le miroir parabolique. Il s'agit de construire un miroir de diamètre donné. Le procédé indiqué utilise la construction par points et tangentes d'une parabole dont on connaît le foyer et la directrice. Les idées et la méthode sont les mêmes que celles d'Anthémius, mais la démonstration est plus claire et mieux ordonnée.

Remarques.

(1) Le début du texte a été tronqué et reconstitué par nous.

(2) On peut imaginer qu'en procédant de la même façon, on augmente indéfiniment le nombre des côtés de la figure polygonale *AMSPX...B*. On

---

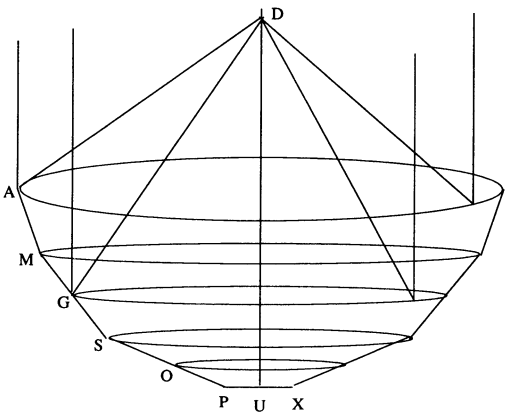
[11] Voir R. Rashed, *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al.*

obtient alors successivement 13 rayons, puis 25 rayons, ... qui se rencontrent en *D*. [Fig. 15, p. 416]

(3) Les constructions indiquées montrent que les points *A, G, O, U* appartiennent à la parabole de foyer *D* et de directrice *EQ*, les droites *FAM*, *MGS*, *SOP* et *PU* étant les tangentes à la parabole en ces points. Si on augmente indéfiniment le nombre des côtés de la figure polygonale, elle se rapproche de plus en plus de la parabole.

(4) La phrase "on a donc le patron d'un miroir" semble indiquer que le but est d'utiliser ce patron pour engendrer un miroir par rotation autour de *DE*.

a) Si on fait tourner la ligne polygonale *AMSPU*, chaque segment de droite engendre la surface latérale d'un tronc de cône, sauf *PU* qui engendre un cercle dans le plan perpendiculaire en *U* à *DE*. Les points *A, G, O* engendrent des cercles et, en tout point de ces cercles, le rayon solaire est réfléchi sur la surface latérale du tronc de cône vers le point *D*.



b) Si on fait tourner l'arc *AU* de la parabole, on obtient un miroir parabolique d'axe *DU*, et tout rayon tombant sur ce miroir est réfléchi vers le point *D*.

C'est avec cette proposition qu'al-Kindī achève son traité sur les miroirs ardents.

3.1.3 *Le traité d'al-Kindī dans l'histoire des miroirs ardents*

En histoire de la catoptrique, le traité d'al-Kindī occupe une place centrale : premier écrit en arabe sur les miroirs ardents, il se situe au croisement de la tradition de l'antiquité tardive et de la tradition arabe. Texte charnière, il est essentiel si l'on veut comprendre aussi bien

l'héritage grec que sa rénovation à partir du IXe siècle. Mais pour cela, il faut d'abord saisir aussi rigoureusement que possible sa juste place.

Al-Kindī lui-même n'évoque dans ce traité qu'un seul nom : Anthémius de Tralles. Avec Euclide et Théon, ce dernier serait-il la seule référence d'al-Kindī ? Avait-il passé sous silence d'autres titres de lui connus ? Sur les miroirs ardents, on connaît en version arabe quatre écrits grecs et byzantins : une compilation du livre de Dioclès sur *Les miroirs ardents*, l'écrit d'Anthémius de Tralles, un écrit attribué à un certain Dtrūms et un autre à un certain Didyme[12]. Le traité d'Anthémius mentionné par al-Kindī a donc été disponible en arabe à l'époque. Sur les dates de la traduction des autres écrits, nous ne savons rien de précis. À cela on peut ajouter le célèbre fragment[13] de Bobbio dont aucun indice ne permet de prétendre qu'il fût traduit en arabe. Avec la proposition du Pseudo-Euclide, nous avons là tout l'héritage sur les miroirs ardents qui nous est parvenu de l'antiquité. Devant l'incertitude des dates de traduction et pour parer à toute hypothèse, il nous reste à situer l'écrit d'al-Kindī par rapport à tous ces textes. Mais nous venons de voir qu'al-Kindī traite de cinq miroirs ardents : conique, sphérique concave, un système de vingt-cinq miroirs hexagonaux, un miroir pyramidal à partir d'un polygone régulier de vingt-quatre côtés et enfin le miroir parabolique. La comparaison entre l'écrit d'al-Kindī et les contributions de ses prédécesseurs portera désormais sur chacun de ces miroirs. Mais, déjà, on voit qu'Anthémius est la principale figure. Remarquons en effet avant d'aller plus loin que l'absence d'une édition critique du texte d'al-Kindī – édition que nous donnons ici pour la première fois – et de celle de la version arabe du texte d'Anthémius – que nous avons découverte et restituée depuis – ont égaré les historiens qui ont cru que le texte d'al-Kindī comportait quatorze propositions au lieu de quinze et qu'il ne contenait rien sur le miroir parabolique, alors qu'al-Kindī s'en occupe ; ils ont cru également que son miroir pyramidal à partir d'un polygone de vingt-quatre côtés est une amélioration du système catoptrique d'Anthémius, alors que nous venons de voir qu'elle reprenait une autre proposition du texte d'Anthémius, laquelle ne se trouve plus dans le texte grec qui nous est parvenu.

Venons-en à la comparaison des diverses études relatives au miroir sphérique et au miroir parabolique. Les autres miroirs, engendrés par des sections coniques, ne posent aucune difficulté.

---

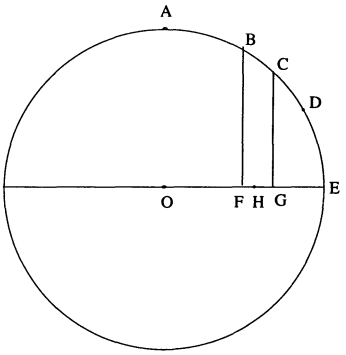
12 Voir R. Rashed, *Dioclès, Anthémius de Tralles, Didyme et al.*

13 Connu par le nom de la Bibliothèque où il se trouve, c'est-à-dire à Bobbio, et que nous désignons désormais par le fragment de Bobbio ; cf. l'édition de J.L. Heiberg dans "Mathematici Graeci Minores", p. 87-92 et G.L. Huxley, *Anthemius of Tralles*, p. 20 sqq.

3.1.3.1 *Miroir sphérique concave : Dioclès, Dtrūms, le fragment de Bobbio, Anthémius et al-Kindī*

Avant de comparer les écrits de ces cinq mathématiciens, considérons d'abord un grand cercle d'une sphère de centre O, de rayon R, et sur ce cercle les points A, B, C, D et E tels que

$$\widehat{EA} = \frac{\pi}{2}, \quad \widehat{EB} = \frac{\pi}{3}, \quad \widehat{EC} = \frac{\pi}{4}, \quad \widehat{ED} = \frac{\pi}{6}.$$



Sur le segment OE, plaçons les points suivants : F milieu de OE, G projection de C et H point de rencontre avec l'axe OE du rayon réfléchi correspondant au rayon incident parallèle à cet axe et tombant au point D. On a

$$OF = \frac{R}{2}, \quad OG = \frac{R\sqrt{2}}{2}, \quad OH = \frac{R\sqrt{3}}{3}$$

On désignera par θ l'angle d'incidence d'un rayon parallèle à l'axe. Pour traduire la loi de la réflexion, Dioclès, l'auteur du fragment de Bobbio et Dtrūms utilisent l'égalité des angles du rayon incident et du rayon réfléchi avec la normale à la sphère, c'est-à-dire avec le diamètre. Cependant l'auteur du fragment de Bobbio, passe de cette égalité d'angles à une égalité entre les *angles curvilignes* que ces rayons font avec le cercle. Al-Kindī, en revanche, part de cette égalité entre *angles curvilignes* et en déduit que le rayon incident et le rayon réfléchi déterminent des cordes égales. C'est cette propriété qu'il utilise ensuite pour construire le rayon réfléchi.

À cette première différence s'en ajoutent beaucoup d'autres. Ainsi, Dioclès étudie les incidences sur les arcs :

$0 < \theta < \frac{\pi}{3}$, le rayon réfléchi rencontre le segment FE

$\theta = \frac{\pi}{6}$, le rayon réfléchi passe au point H

$0 < \theta < \frac{\pi}{6}$, le rayon réfléchi rencontre le segment FH

si $\theta \to 0$, le point d'intersection du rayon réfléchi et de l'axe se rapproche de F;

alors que l'auteur du fragment de Bobbio étudie l'arc $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$, et le rayon réfléchi rencontre donc le segment FG.

L'étude de Dtrūms est beaucoup plus complète que celles de Dioclès et de l'auteur du fragment de Bobbio. Dtrūms examine en outre le cas où le rayon réfléchi ne rencontre l'axe qu'après avoir subi deux ou plusieurs réflexions sur le miroir. Il étudie successivement les cas suivants :

$\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$, danc ce cas, et seulement dans ce cas, le rayon subit plusieurs réflexions et rencontre l'axe sur le segment GE.

$\theta = \frac{\pi}{3}$, le rayon est réfléchi vers le point E ;

$\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{3}$, le rayon réfléchi rencontre l'axe sur le segment GE ;

$\theta = \frac{\pi}{4}$, le rayon est réfléchi vers G ;

$0 < \theta < \frac{\pi}{4}$, le rayon réfléchi rencontre l'axe sur le segment FG ;

c'est ce dernier cas seulement qui est étudié par l'auteur Bobbio.

Notons que Dtrūms n'examine pas le cas où $\theta = \frac{\pi}{6}$ qui a été étudié par Dioclès, lequel en a déduit qu'un miroir d'ouverture $2\theta = \frac{\pi}{3}$ donne une concentration de rayons réfléchis sur un très petit segment FH inférieur à $\frac{1}{12}$ de rayon.

Dtrūms, en revanche, dans sa proposition 6, conclut que le miroir dont l'ouverture est $\frac{2\pi}{3}$ donne le meilleur embrasement ; il obtient la même concentration que Dioclès sur FH et une concentration un peu moindre sur le segment HE.

Al-Kindī enfin examine les cas suivants :

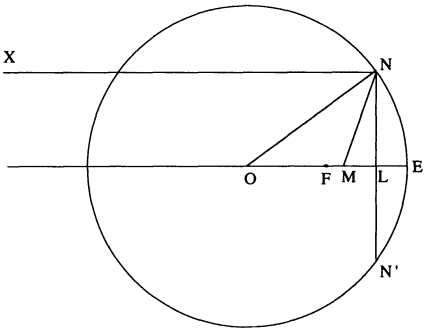
$\theta = 0$ le rayon incident est porté par l'axe, il est réfléchi sur lui-même ;

$\theta = \frac{\pi}{3}$, le rayon est réfléchi vers le point E ;

$\theta = \frac{\pi}{4}$, le rayon est réfléchi vers le point G ;

$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$, al-Kindī se propose de déterminer l'intersection M du rayon réfléchi en N avec l'axe.

Al-Kindī ne détermine cependant pas la position de M sur le segment OE comme le font Dioclès, l'auteur du fragment de Bobbio et Dtrūms, mais étudie la distance de ce point à la projection L du point d'incidence sur l'axe. Ses calculs montrent que la longueur LM est connue quand l'angle $\theta = \widehat{NOE}$ est connu.



Dans la proposition 10, al-Kindī se place, sans le préciser, dans l'hypothèse où $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$, M est alors entre L et O. La même méthode s'applique si $\frac{\pi}{4} < \theta < \frac{\pi}{3}$, mais M est alors entre L et E.

Enfin, dans la proposition 11, al-Kindī considère l'arc $\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$, le rayon réfléchi rencontre le miroir avant de rencontrer l'axe, le point M est au delà de E.

Dans chacun des cas al-Kindī indique que le point trouvé sur l'axe est le point de convergence de tous les rayons réfléchis provenant des rayons de même incidence ; et, dans le dernier cas, ce point est derrière le miroir par rapport au soleil.

Les calculs d'al-Kindī permettent de trouver pour chaque rayon incident XN la distance LM de la projection de N sur l'axe du miroir à l'intersection M du rayon réfléchi avec cet axe. De ces calculs, on a vu qu'on peut tirer pour $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$,

$$LM = \frac{R}{2} \times \frac{|\cos 2\theta|}{\cos \theta}.$$

Notons que, si un miroir est défini par l'arc *NN'*, la concentration des rayons réfléchis se fait sur le segment *FM*, mais al-Kindī ne mentionne ni ce miroir, ni ce segment, ni le point *F*. Son étude de la distance *LM* qui correspond au cercle de rayon *LN*, dans les propositions 10 et 11, apparaît d'ailleurs comme un départ vers la notion de zone dont le cercle (*L*, *LN*) serait le cercle moyen ; étude qui sera plus tard développée par Ibn al-Haytham[14]. Al-Kindī ne fait cependant pas une étude de tous les rayons tombant sur la surface d'une zone.

De toute évidence l'étude d'al-Kindī n'est pas dans la continuité de celle de Dioclès, encore moins de celle de l'auteur du fragment de Bobbio, et pas davantage de celle de Dtrūms. On constate en effet qu'il n'y a rien de commun avec Dioclès, ni avec l'auteur du fragment de Bobbio. Certes les cas particuliers $\theta = \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}$, sont les mêmes chez al-Kindī et Dtrūms, mais leur choix provient de propriétés géométriques simples associées aux lois de la réflexion – lois que les deux auteurs n'utilisent d'ailleurs pas sous la même forme, comme nous l'avons rappelé. On peut en outre faire les remarques suivantes :

1) Le point *F*, milieu du rayon *OE* apparaît chez Dioclès, l'auteur du fragment de Bobbio et Dtrūms, comme position extrême du point de convergence sur l'axe. Al-Kindī ne le mentionne pas, pour dire que *M* peut être entre *L* et *O* ou entre *L* et *E* ou au delà de *E*, mais il n'affirme pas qu'il ne peut pas être sur *OF*.

2) L'étude du *segment* sur lequel convergent les rayons tombant sur un miroir sphérique d'ouverture donnée, c'est-à-dire les rayons dont l'incidence θ vérifie $0 < \theta < \theta_1$ se rencontre chez Dioclès pour $0 < \theta < \frac{\pi}{6}$, chez l'auteur du fragment de Bobbio pour $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ et chez Dtrūms pour $0 < \theta < \frac{\pi}{4}$ et $0 < \theta < \frac{\pi}{3}$; mais on ne trouve pas cette étude chez al-Kindī.

La comparaison de l'étude d'al-Kindī du miroir sphérique concave avec celles de Dioclès, de l'auteur du fragment de Bobbio et de Dtrūms, ne laisse persister aucun doute non seulement sur l'indépendance de l'étude d'al-Kindī par rapport à ces derniers, mais également sur l'indépendance de chacune d'entre elles par rapport aux deux autres. Cette indépendance se confirme encore une fois lorsque l'on considère le cas du miroir parabolique, comme on le verra plus loin.

---

[14] Ibn al-Haytham, "Sur les miroirs ardents sphériques", dans *Majmūʿ al-rasā'il*, publication non critique de Dā'irat al-Maʿārif al-'Osmānia (Hyderabad, 1357/ 1938-1939) ; H.J. Winter et W. 'Arafat, "A Discourse on the Concave Spherical Mirror by Ibn al-Haytham", *Journal of the Royal Asiatic Society of Bengal*, 3e série, Science, 16 (1950), p. 1-6.

3.1.3.2. *Miroir sphérique concave : al-Kindī et Ibn al-Haytham*

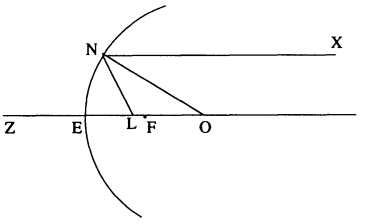
Pour comprendre la place exacte de la contribution d'al-Kindī, il nous faut connaître son impact sur la recherche que ses successeurs ont consacrée aux miroirs ardents. Nous avons rencontré dans la compilation d'Ibn ʿĪsā deux propositions de ce traité d'al-Kindī. Très vraisemblablement il y eut d'autres écrits inspirés par al-Kindī dont la connaissance reste un gage de la recherche historique à venir. Ici nous nous arrêtons au traité d'Ibn al-Haytham sur les miroirs ardents sphériques pour examiner sa dette vis-à-vis d'al-Kindī, ainsi que la distance parcourue un siècle et demi environ plus tard. Reprenons brièvement et successivement les propositions établies par Ibn al-Haytham.

Dans les deux premières propositions, Ibn al-Haytham établit que, à tout cercle tracé sur la sphère est associé, sur son axe, un point déterminé et réciproquement. Ainsi, dans la première proposition, il démontre qu'un rayon *XN* parallèle à l'axe du miroir est réfléchi en *N* et *rencontre* l'axe en un point *L*. Il prouve que cette intersection existe, et que si le point *N* décrit un cercle autour de l'axe, *L* reste le même. Dans la seconde proposition, il établit qu'*aucun* rayon autre que ceux qui tombent sur le cercle décrit par *N*, n'est réfléchi vers *L*.

Cette propriété établie par Ibn al-Haytham dans ces deux premières propositions ne l'a pas été – autant que je sache – auparavant.

Dans la troisième proposition, il montre que : pour tout rayon *XN* parallèle à l'axe, le point *L* est à une distance *OL* du centre de la sphère, supérieure à un quart du diamètre.

Soit *F* le milieu de *OE* le rayon, $OL > OF$, $L \in FZ$.



Dans la quatrième proposition, il montre que si $\widehat{EON} = \theta = \frac{\pi}{4}$, *N* est en *C*, *EC* est le côté de l'octogone ; le rayon est alors réfléchi en *G*, projection de *C* sur l'axe (voir Fig. page 117).

Dans la cinquième proposition :

Si $\theta = \frac{\pi}{3}$, *N* est en *B*, *EB* côté de l'hexagone, alors le rayon est réfléchi vers *E*.

Si $\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$, EN est compris entre le côté de l'hexagone et celui du carré, alors le rayon est réfléchi vers un point extérieur à la sphère.

Si $\theta < \frac{\pi}{3}$, EN est inférieur au côté de l'hexagone, alors le rayon est réfléchi vers un point du segment EF.

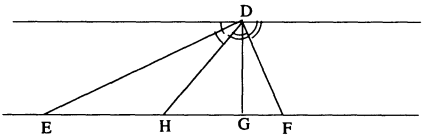
Si θ décroît et tend vers 0, le point tend vers F.

Ibn al-Haytham étudie donc le cas où $\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$, que nous avons rencontré chez al-Kindī et chez Dtrūms, mais non pas chez Dioclès, ni chez l'auteur du fragment de Bobbio. Mais Dtrūms, nous l'avons noté, montre que dans ce cas le rayon subit deux ou plusieurs réflexions avant de rencontrer l'axe à l'intérieur de la sphère, sans étudier cependant le point où le premier rayon réfléchi irait rencontrer l'axe en dehors de la sphère.

Ibn al-Haytham, comme al-Kindī, étudie le point de convergence de tous les rayons d'incidence θ tel que $\frac{\pi}{3} < \theta < \frac{\pi}{2}$, à l'extérieur de la sphère.

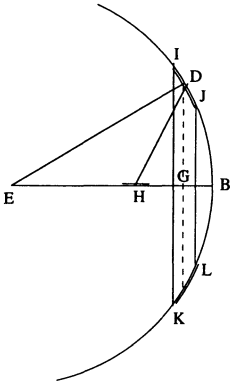
Ibn al-Haytham étudie ensuite – proposition 6 – étant donnés un cercle (G, GD) et un point H de son axe, la détermination d'un miroir sphérique pour que les rayons tombant sur ce cercle et parallèles à son axe soient réfléchis vers H.

D'après les lois de la réflexion, la distance cherchée de H au centre de la sphère doit être égale à HD, d'où deux points E et F de l'axe tels que $HE = HF = HD$. Deux sphères répondent donc au problème : la sphère (E, ED) et la sphère (F, FD). Or nous n'avons rencontré cette étude dans aucun texte de nous connu.



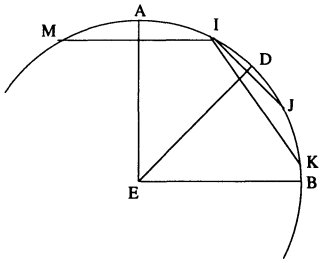
Dans la proposition 7, Ibn al-Haytham considère une sphère de centre E et une zone sur cette sphère limitée par deux cercles d'axe EB ; soit $\widehat{ID}$ l'arc générateur et D son milieu. Il montre que, si à chacun des deux cercles est associé un point de l'axe, alors les rayons réfléchis sur la zone rencontrent le segment ainsi défini.

Si GD est le rayon moyen de la zone, à D est associé le point H et le segment est de part et d'autre de H. La longueur de ce segment dépend de l'arc $\widehat{ID}$ générateur de la zone.



Ibn al-Haytham explique dans la proposition 8 la construction d'un miroir en forme de zone sphérique destiné à obtenir un embrasement en un point donné *H*. Il se donne le rayon moyen *GD* de la zone et la distance *GH*. La proposition 6 permet de déterminer le rayon de la sphère, et Ibn al-Haytham explique ensuite la construction effective d'un miroir dont la surface réfléchissante est une zone sphérique. Il souligne d'ailleurs le cas où l'embrasement est à *l'extérieur* de la surface sphérique. Il ne faut pas en effet que la surface du miroir, c'est-à-dire la surface de la zone engendrée par l'arc $\widehat{IJ}$ de milieu donné *D*, fasse obstacle au rayon réfléchi sur ce miroir. Si le rayon réfléchi en *I* recoupe la sphère en *K*, on a $\widehat{IK} = 2\,\widehat{IA}$; par conséquent, pour que le rayon réfléchi en *I* ne rencontre pas le miroir avant l'axe, il faut que $\widehat{IJ} < 2\,\widehat{IA}$, c'est-à-dire que $\widehat{ID} < \widehat{IA}$. Notons que si le point donné *D* est défini par $\widehat{BD} = \theta$ et si nous posons $\widehat{IJ} = 2\,\widehat{ID} = 2\alpha$, on a

$$\widehat{IA} = \frac{\pi}{2} - (\alpha + \theta).$$



La condition $\widehat{ID} < \widehat{IA}$ donne

$$\alpha < \frac{\pi}{2} - (\alpha + \theta)$$

d'où

$$2\alpha = \widehat{IJ} < \frac{\pi}{2} - \theta.$$

Dans les propositions suivantes, Ibn al-Haytham explique la construction de miroirs par composition de zones sphériques juxtaposées, provenant de sphères différentes. Dans un premier cas, il veut obtenir, pour toutes les zones considérées, la *convergence* des rayons réfléchis sur un même segment. Dans un deuxième cas, il veut obtenir la convergence sur deux segments distincts.

Or nous avons noté à propos de la proposition 11 d'al-Kindī, que celui-ci montre que, si on veut que les rayons solaires d'incidence donnée parviennent en ce point de convergence, il faut enlever une calotte sphérique. Mais al-Kindī, contrairement à Ibn al-Haytham, ne montre pas quelle est la relation de l'angle d'incidence du rayon étudié et de l'arc générateur de la calotte. L'étude d'al-Kindī est proche de celle d'Ibn al-Haytham dans la proposition 8 pour le miroir défini par une zone dans le cas où le point de convergence est à l'extérieur de la sphère, mais elle n'a pas la précision de celle d'Ibn al-Haytham. Notons également que la donnée par Ibn al-Haytham dans la proposition 6 de la distance *GH* et du rayon *GD* du cercle est à rapprocher de l'étude par al-Kindī du segment *LM* pour une incidence θ quelconque dans les propositions 10 et 11 de son traité. Mais en revanche, et cela nous semble capital, l'étude du *segment* sur lequel convergent les rayons tombant sur une calotte sphérique $0 < \theta < \theta_1$ ou sur une zone sphérique $\theta_1 < \theta < \theta_2$, fondamentale dans le traité d'Ibn al-Haytham, est absente chez quiconque avant lui, y compris al-Kindī.

Avec Ibn al-Haytham, le problème pour lequel Dioclès, l'auteur du fragment de Bobbio et Dtrūms n'envisagent que des cas particuliers – $\left(0, \frac{\pi}{6}\right)$, $\left(0, \frac{\pi}{4}\right)$, $\left(0, \frac{\pi}{3}\right)$ – est étudié pour un intervalle (θ_1, θ_2). Il montre que la position du segment et sa *longueur* dépendent de la longueur de l'arc.

Cette comparaison, aussi brève soit-elle, permet d'affirmer qu'Ibn al-Haytham a certainement connu le texte d'al-Kindī et peut-être celui de Dtrūms. Mais le traité d'al-Kindī ne constituait qu'un point de départ avant la transformation du problème grâce à la notion de *zone de convergence*, outil fondamental dans l'étude d'Ibn al-Haytham. De plus, dans chaque démonstration apparaît chez celui-ci un souci de rigueur : démonstration de l'existence du point d'intersection de l'axe et du rayon réfléchi dans la proposition 1, de la correspondance entre cercle sur la sphère et point sur l'axe, dans la proposition 2, ou la discussion dans la proposition 8.

Ainsi la place de l'étude par al-Kindī du miroir ardent sphérique se précise : il va beaucoup plus loin que tout traité qui nous est parvenu de

l'antiquité et de l'antiquité tardive, ne peut être réduit à aucun de ceux-ci, et constitue un point de départ pour ses successeurs comme Ibn al-Haytham qui lui-même modifie déjà la nature de la question.

3.2 *L'explication par la réflexion de la perception de l'objet immergé dans l'eau : Un fragment du traité d'al-Kindī sur les grandeurs immergées dans l'eau*

Parmi les travaux en optique d'al-Kindī, les anciens biobibliographes évoquent un traité intitulé : *Les corps immergés dans l'eau* (*al-Ajrām al-ghā'iṣa fī al-mā'*)[15]. Ce livre que personne n'évoquait, sans doute le croyant définitivement perdu, ne l'est heureusement pas complètement. Le fragment retrouvé nous livre le texte d'al-Kindī, et nous permet de montrer que, comme auparavant la *Rectification*, cet écrit a été connu de Aḥmad ibn ʿĪsā, et compilé par lui. Il est donc désormais possible de corriger une erreur d'attribution récemment commise[16]. Nous reprendrons ces questions d'histoire textuelle après avoir brièvement repris la question optique soulevée.

Le fragment d'al-Kindī, on le vérifiera, porte uniquement sur la question : pourquoi les corps immergés dans l'eau sont-ils vus plus grands à mesure qu'ils sont immergés ? C'est dire qu'il n'y a ni prologue pour savoir pourquoi al-Kindī pose cette question plutôt qu'une autre, ni d'autres propositions qui puissent nous renseigner sur le contexte, ni conclusion pour rappeler le but recherché. On a seulement la réponse à la question, qui peut se résumer ainsi :

Si un objet AB (cf. Fig. p. 426) placé à la surface de l'eau est vu du point C sous l'angle ACB, alors l'objet placé dans la position IH est vu sous l'angle MCL plus grand que sous l'angle ACB ; sous l'angle ACB l'œil placé en C ne voit que la portion KJ de l'objet IH.

La justification présentée par al-Kindī consiste à montrer que les rayons FB, GA, NL, SM, dont les prolongements aboutissent respectivement en J, K, H, I sans subir de déviation à la surface de l'eau, résultent de la réflexion sur cette surface des rayons visuels CB, CA, CL et CM[17].

Tel est le contenu du fragment qui nous est parvenu, et qui ne nous dit rien sur les intentions du philosophe. Pourquoi a-t-il abordé cet objet ? dans quel contexte ? quelles autres propositions pouvait bien contenir son livre ? Question délicate, dans l'état actuel de nos connaissances, et qui peut égarer dans les conjectures. Nous allons donc évoquer deux

---

[15] Al-Nadīm, *al-Fihrist*, p. 320 ; al-Qifṭī, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, p. 375-376 ; Ibn Abī Uṣaybiʿa, *'Uyūn al-anbā'*, p. 292-293.

[16] Voir A.I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham*, vol. II, p. XXVI-XXVII ; voir Chapitre I, p. 58, note 57.

[17] Voir *infra*, p. 425-427.

possibilités, qui ne sont nullement exclusives. La première nous ramène au célèbre problème de "l'illusion lunaire", et la seconde à quelques problèmes qui circulaient déjà dans l'antiquité sur la vision à travers l'eau, probablement dans la *Catoptrique* attribuée à Archimède.

Parmi les phénomènes d'optique atmosphériques, il en est un, en effet, qui n'est pas moins célèbre que l'arc-en-ciel ou le halo : l'agrandissement des astres à l'horizon, à présent baptisé "illusion lunaire"[18]. Ce phénomène a intéressé Ptolémée aussi bien que ses prédécesseurs et ses commentateurs. Tous voulaient expliquer pourquoi nous voyons les astres, et en particulier les deux luminaires, plus grands à l'horizon qu'au zénith. Les réponses proposées par les auteurs anciens, en dépit de leur diversité, dérivent toutes d'une même idée : la cause du phénomène réside dans les écarts de densité de l'air, qui résultent en particulier de la présence de la vapeur d'eau qui s'interpose entre les astres et nous. Apparue pour la première fois chez Aristote (*Meteor.* III, 4, 373b 10-13), telle était l'explication de Strabon, d'Olympiodore, de Ptolémée lui-même, de Théon d'Alexandrie et du nouveau venu, Fūthīṭos[19]. Ainsi, en cherchant dans la vapeur d'eau la principale cause de cette illusion, ces auteurs ont ouvert la voie à son étude : il suffit d'observer ce qui se produit lorsque les rayons visuels traversent l'eau – examen qui, lui, est direct et accessible, alors que celui du phénomène atmosphérique ne l'est point. Or, deux textes où se trouve géométriquement élaborée cette explication ont été rendus en arabe ; l'un est dû à Théon d'Alexandrie, dans son commentaire du premier livre de l'*Almageste*, et il était vraisemblablement connu d'al-Kindī ; le second est celui de Fūthīṭos[20]. Ces deux auteurs, Théon et Fūthīṭos, invoquent la fameuse *Catoptrique* attribuée à Archimède, et font appel à la réfraction. C'est d'ailleurs aussi à la réfraction qu'Olympiodore a recours dans son commentaire des *Météorologiques* d'Aristote[21]. Notre question est donc claire : al-Kindī avait-il écrit son livre dans ce contexte, c'est-à-dire pour traiter l'illusion lunaire ? connaissait-il ces textes, ou tout au moins certains d'entre eux ? et, enfin, pourquoi, dans ce dernier cas, aurait-il opté pour la réflexion au lieu de la réfraction ?

La compilation d'Ibn ʿĪsā vient en quelque sorte appuyer une réponse affirmative à la première question ; mieux encore, elle suggère la présence d'autres propositions qui montrent bien que les deux branches de l'alternative précédemment exposée ne sont pas exclusives.

---

[18] Voir R. Rashed, "Fūthīṭos (?) et al-Kindī sur 'l'illusion lunaire'", dans *ΣΟΦΙΗΣ ΜΑΙΗΤΟΡΕΣ "Chercheurs de sagesse". Hommage à Jean Pépin*, Institut d'Études Augustiniennes (Paris, 1992), p. 534-539.

[19] *Ibid.*

[20] *Ibid.*, p. 548-553.

[21] Voir *In Aristotelis Meteora Commentaria*, éd. G. Stüve, *GAG* III 2 [Arist. 37a18] et également ʿAbd al-Raḥmān Badawī, *Commentaire sur Aristote perdu en grec et d'autres épîtres* (Beyrouth, 1986), p. 146.

Ibn ʿĪsā introduit ainsi le passage d'al-Kindī, par lui interpolé :

> Mentionnons maintenant la cause par laquelle le corps immergé dans l'eau pure est vu plus grand que lui-même quand il est à l'extérieur de l'eau.

À la fin du passage qui nous est parvenu du traité d'al-Kindī, Ibn ʿĪsā écrit :

> C'est pour cette cause que nous avons décrite que le soleil, la lune, et tout astre, sont vus à l'horizon est et à l'horizon ouest plus grands que lorsqu'ils sont au milieu du ciel ; car la vapeur de la terre s'élève toujours vers le haut suivant une droite, et ainsi nous voile les astres jusqu'à ce que ce qui est entre eux et nous devienne sombre ; or la vapeur est humide ; il se produit alors pour le soleil, la lune et les astres, ce qui se produit pour les corps immergés dans l'eau, en vertu de la cause que nous avons mentionnée précédemment ; et ils seront vus sous un angle plus grand que s'ils étaient au milieu du ciel ; et ils seront donc vus d'une grandeur supérieure quand ils sont à l'est ou à l'ouest. En vertu d'une cause analogue à celle-ci, il se produit pour le corps (*jism*) vu dans le mirage ou au delà du mirage, le petit corps (*jism*) sera vu très corpulent (*ʿaẓīm al-jutha jiddan*) puisque le mirage est un rayon qui se soulève de la terre lorsque la terre reçoit la chaleur (*al-ḥamā'*) par les rayons du soleil qui tombent sur elle...[22]

Étant donné les procédés de compilation d'Ibn ʿĪsā sur lesquels nous avons insisté, et aussi sur l'analogie d'un certain langage, nous ne serions pas étonné que ce paragraphe que nous venons de citer ait été emprunté au livre d'al-Kindī. Si cette conjecture est vraie, nous pourrons comprendre alors dans quel contexte fut formulée la question du philosophe de Bagdad. Il paraîtrait même naturel qu'il ait soulevé un problème déjà traité par les commentateurs d'Aristote et par ceux de Ptolémée, deux auteurs qui l'intéressaient au plus haut point.

Notons d'autre part qu'Ibn ʿĪsā continue le précédent paragraphe par une question de la même famille, et qui, elle aussi, aurait très bien pu être posée par al-Kindī : pourquoi le corps immergé dans l'eau apparaît-il dans un lieu plus proche de la surface de l'eau que sa position réelle ? Or ce problème est lié au genre que l'on rencontre dans le sixième postulat de la *Catoptrique* attribuée à Euclide[23], et qui semble avoir appartenu à la célèbre *Catoptrique* attribuée à Archimède[24].

Selon la conjecture précédente – qu'Ibn ʿĪsā n'a pas seulement emprunté le fragment, ce qui est certain, mais aussi d'autres courts paragraphes qui le précèdent et qui lui succèdent – le livre d'al-Kindī

---

[22] Aḥmad ibn ʿĪsā, *al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa,* mss Istanbul, Süleymaniye, Ragip Paşa 934, fol. 55ᵛ-56ʳ ; ms. Laleli 2759, fol. 74ʳ-74ᵛ.

[23] Voir le sixième postulat de la *Catoptrique* : "Que si quelque objet regardé dans un vaisseau y acquiert une distance telle qu'il ne soit plus vu, et si cette distance restant la même, on verse de l'eau, l'objet regardé sera vu". *Euclide, L'optique et la catoptrique*, trad. P. Ver Eecke (Paris, 1959), p. 99.

[24] *Ibid.*, p. 99, note 3.

aurait comporté d'autres problèmes consacrés aux corps immergés dans l'eau ; d'autre part, sa proposition centrale aurait été destinée, au moins en partie, à l'explication de l'illusion lunaire. Mais la question reste à l'évidence ouverte tant que l'on n'a pas retrouvé l'intégralité de ce livre.

L'explication de ces phénomènes par la réflexion a donc survécu à al-Kindī. On la retrouve non seulement dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, mais dans un livre d'un philosophe de la fin du Xe siècle, selon toute vraisemblance de l'École de Bagdad. Il s'agit d'un certain Muḥammad ibn al-Haytham, que l'on a confondu avec le célèbre mathématicien al-Ḥasan ibn al-Haytham[25]. Muḥammad ibn al-Haytham, très probablement sous l'influence de son prédécesseur du IXe siècle al-Kindī, traite des mêmes phénomènes à l'aide de la réflexion, alors que l'*Optique* de Ptolémée, y compris le cinquième livre, était traduite et diffusée, ainsi qu'en témoignent les travaux de son concitoyen Ibn Sahl.

3.3 *Sur les traces de deux traités d'al-Kindī*

3.3.1 *Introduction*

Outre le livre sur les rayons solaires, trois autres traités mentionnés par les anciens biobibliographes et cités auparavant portent tous sur les miroirs. Le titre du premier est explicite et permet aisément de deviner son thème : la *Construction des miroirs ardents*. Ce livre, très probablement dans la tradition d'Anthémius de Tralles, aurait porté sur la construction de miroirs qui embrasent par les rayons du soleil ou par les rayons du feu. Le second a pour titre *Sur la diversité des perspectives dans le miroir*. Il s'agit donc d'un traité catoptrique sans doute du même genre que celui de Qusṭā ibn Lūqā[26], où l'on traite des propriétés optiques d'un certain nombre de miroirs, avec parfois de timides rappels des propriétés anaclastiques de certains d'entre eux. Le titre du troisième traité nous laisse un peu plus perplexe : les *Gabarits du miroir*. Nous

---

[25] Le texte de Muḥammad ibn al-Haytham commence d'une manière analogue à celle d'al-Kindī et procède par le même raisonnement. Voici ce que l'on lit dans son Commentaire de Ptolémée [*Fī Sharḥ al-Majisṭī*, ms.Istanbul, Ahmed III 3329, fol. 6^r-v.]

فلأنه قد بان في كتب المناظر أن الشعاعات البصرية تنعكس عن سطوح المبصرات على زوايا متساوية وخطوط مستقيمة [...] وأن هذه الخطوط تنفذ في أجسام الأشياء الشفافة، فتنتهي إلى الشيء الغائص في تلك الأجسام، فيقع الإبصار بالشعاعات المنعكسة.

"En effet, on a montré dans les livres de l'optique que les rayons visuels se réfléchissent sur les surfaces des visibles selon des angles égaux et des droites égales [...], et que ces droites pénètrent dans les corps des choses transparentes pour aboutir à la chose immergée dans ces corps et ainsi la vision se fait par les rayons réfléchis".

Ce texte de Muḥammad ibn al-Haytham dont nous reproduisons le début semble être une reprise dans un langage à peine différent de celui d'al-Kindī.

[26] Voir Appendice II.

ignorons en effet s'il s'agit des gabarits de certains miroirs ardents, ou des miroirs sans restriction.

De ces trois écrits, aucun ne nous est parvenu, intégralement ou en partie, sous le nom d'al-Kindī, et la question même de leur existence n'a jamais été, que je sache, soulevée. Mais leur absence, non plus que les silence qui les entoure, ne peuvent plus durer après la découverte du manuscrit d'Istanbul[27]. Celui-ci contient en effet un quatrième fragment d'al-Kindī – établi et traduit ici – et qui porte précisément sur la construction d'un miroir sphérique concave. Comme ce fragment ne provient pas du traité sur les *Rayons solaires*, et qu'il ne pouvait provenir que d'un livre consacré aux miroirs ardents et à leur construction, il peut nous mettre sur les traces de l'écrit d'al-Kindī sur la construction des miroirs ardents. Sans doute le fragment du manuscrit d'Istanbul à lui seul ne nous aurait-il pas permis d'aller aussi loin. Cette fois encore, Ibn ʿĪsā vient à notre secours, malgré lui pour ainsi dire, et sa compilation nous indique un chemin : il a en effet reproduit le même fragment dans un ensemble de propositions portant précisément sur la construction des miroirs ardents. Sur ce fragment et la compilation d'Ibn ʿĪsā, nous pouvons répéter mot pour mot ce que nous avons déjà soutenu lorsqu'il s'agissait de l'autre fragment, sur les corps immergés dans l'eau. Toute la question est de savoir quelles sont les autres propositions, parmi lesquelles se présente celle qui est contenue dans le fragment, qui pouvaient être dues à al-Kindī. Question d'autant plus difficile que, contrairement à ce qui était le cas pour la *Rectification*, nous ne disposons pas du livre d'al-Kindī, mais seulement d'un fragment.

Ibn ʿĪsā reproduit ce fragment avec les autres propositions sur les miroirs ardents au début d'un chapitre destiné en même temps qu'à l'étude des miroirs ardents, à celle des propriétés catoptriques des miroirs concaves et convexes. Il rappelle ainsi qu'après en avoir terminé avec "la réflexion des rayons lumineux (*al-nūriyya*) à partir des yeux (*al-abṣār*)", il entreprendra à présent l'étude "de la cause pour laquelle les miroirs embrasent et le visage apparaît très grand dans le miroir ardent". Il commence donc par étudier la construction de certains miroirs ardents, avant de revenir dans une seconde partie de ce chapitre aux propriétés optiques de certains d'entre eux. Or nous avons là une manière de procéder qui rappelle singulièrement celle que nous avons déjà relevée dans la compilation du texte sur les corps immergés dans l'eau, ainsi que des groupes de propositions de la *Rectification*. Chaque fois Ibn ʿĪsā introduit le groupe de propositions comme réponse à une question par lui posée, autant pour marquer une transition que pour effectuer un partage en sections du texte compilé, dont il laisse ainsi certaines parties sans les reprendre. Mais cette fois la question porte en même temps sur les

---

[27] Ce manuscrit contient deux fragments d'al-Kindī dont deux en catoptrique, voir *infra*, p. 158 sqq.

propriétés anaclastiques et les propriétés optiques. Nous allons montrer que les propositions fondamentales de son chapitre sur les miroirs ardents ont, selon toute vraisemblance, pour origine le traité d'al-Kindī sur la *Construction des miroirs ardents*[28]. Quant aux propositions catoptriques, nous n'avons aucun moyen direct pour estimer la dette d'Ibn ʿĪsā envers le livre d'al-Kindī *Sur la diversité des perpectives dans le miroir*. La seule voie qui nous est offerte nous oblige à un détour par le livre de Qusṭā ibn Lūqā ; indirecte, elle est donc conjecturale, et s'il nous arrive de l'emprunter, ce n'est pas pour répondre à la question, mais juste pour la poser.

3.3.1.1 *Le fragment d'al-Kindī et la compilation d'Ibn ʿĪsā : miroir dièdre et miroir sphérique concave*

Le fragment du manuscrit d'Istanbul d'al-Kindī porte sur la proposition : "Tout miroir dont l'arc est un tiers de son cercle ... réfléchit les premiers rayons de ses extrémités vers le centre du miroir". Or cette proposition, nous l'avons dit, s'intègre à un groupe dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, dont un certain nombre de propositions pourraient provenir de ce même livre dont est issu ce fragment. Examinons ce groupe.

La première proposition donnée par Ibn ʿĪsā dans ce chapitre s'écrit : "Comment le rayon se réfléchit à partir des deux côtés du miroir vers le point qui est le centre du miroir, miroir limité par les deux côtés et par l'angle entouré par les deux côtés". Il s'agit en fait d'un miroir en forme de dièdre dont les deux faces sont des rectangles égaux. L'auteur de ce texte considère le cercle circonscrit au triangle DBE isocèle par hypothèse (voir figure Appendice III, p. 652). Si I est le centre du cercle, on a $\widehat{IBE} = \widehat{IBD} = \widehat{IEB} = \widehat{IDB}$. Si GE et FD sont des rayons solaires parallèles à IB, les rayons qui leur correspondent par réflexion en E sur le miroir BE et en D sur le miroir BD se coupent en I. Or cette proposition, telle qu'elle figure dans le texte d'Ibn ʿĪsā, correspond à la première proposition du traité d'al-Kindī sur les *Rayons solaires*. Dans un cas comme dans l'autre, on traite du même miroir, et l'étude est faite pour un angle plan de ce dièdre. Les deux démonstrations diffèrent peu. Dans les *Rayons solaires*, al-Kindī montre que les deux rayons réfléchis qui correspondent aux rayons extrêmes coupent la bissectrice de l'angle B des deux miroirs au même point, qui est le centre du cercle passant par E, B, D. Ainsi, dans les *Rayons solaires*, on part des lois de la réflexion sur un miroir plan, pour montrer que deux rayons parallèles à la bissectrice de l'angle plan B ($DB = BE$) tombant aux points D et E, donnent deux rayons réfléchis qui se coupent en un point I de la bissectrice ; on montre

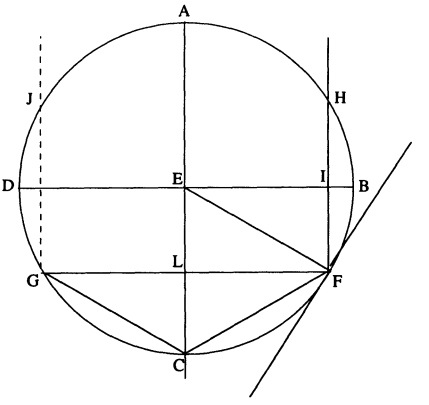
---

[28] C'est précisément à ce traité qu'al-Kindī se réfère, selon toute vraisemblance, dans son livre sur les *Rayons solaires*, proposition 4.

alors que *I* est le centre du cercle circonscrit à *DBE* : on part de la propriété optique de l'égalité des angles de réflexion pour établir une propriété géométrique. Ici, al-Kindī répond d'ailleurs au but qu'il s'était fixé au début de son livre d'établir géométriquement toutes les assertions. Tout se passe donc comme si, connaissant la propriété de ce miroir, il voulait l'établir rigoureusement.

En revanche, dans le texte d'Ibn ʿĪsā, on part de l'angle plan *DBE* avec *DB* = *BE*, pour considérer le cercle circonscrit au triangle *DBE* dont le centre *I* est sur la bissectrice *BH* de l'angle. On en déduit alors des égalités d'angles qui permettent de conclure que les rayons *FD* et *GE* parallèles à *BH* se réfléchissent vers le point *I*. On part ainsi d'une propriété géométrique pour parvenir à une propriété optique : tout se passe comme si, connaissant la forme géométrique, on cherchait à déterminer le point de focalisation. On voit bien qu'il s'agit de la même proposition, établie grâce aux mêmes idées, et que la légère différence qui sépare les démonstrations tient à la différence entre les buts des deux exposés.

La proposition que donne ensuite Ibn ʿĪsā n'est autre que celle d'al-Kindī, rapportée par le fragment d'Istanbul. La comparaison des deux textes ne laisse subsister aucun doute sur ce point. Examinons donc la version donnée par Ibn ʿĪsā. On considère un miroir concave dont l'arc générateur *FCG* est un tiers du grand cercle *ABCD* ; *CA* est l'axe du miroir. On montre que les rayons tels que *HF*, parallèles au diamètre *EC*, qui tombent sur le pourtour du miroir, c'est-à-dire sur le cercle (*L*, *LF*) dans un plan perpendiculaire au plan de la figure, sont réfléchis vers le point *C*. En d'autres termes, dans le texte de la proposition telle qu'elle se présente dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, on a montré :
1) que si *HF* est un rayon parallèle à l'axe, alors l'arc *HF* est un sixième du cercle ;



2) que le rayon réfléchi correspondant à *HF* sépare sur le cercle *ABCD* un arc égal à l'arc *HF* ;
3) or l'arc *FC* est un sixième de cercle, donc *FC* est le rayon réfléchi ;
4) le rayon *AC* passant par le centre de la sphère se réfléchit sur lui-même.

Notons qu'al-Kindī avait démontré 2) et 4) dans les propositions 5 et 6a respectivement des *Rayons solaires*.

On considère ensuite tous les rayons tombant sur l'arc *FC* qui sont réfléchis en direction de *G*, et tous les rayons réfléchis sur l'arc *GC* qui sont réfléchis en direction de *F*. Autrement dit, on considère des rayons symétriques deux à deux, comme dans les *Rayons solaires*, proposition 6b. On lit ensuite : "Les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de *A* le feront donc au point *L*, et les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de *C* le feront au point *C*" ; on souligne donc ainsi le rôle du segment *CL* pour conclure que c'est au voisinage de *L* que l'intersection des rayons réfléchis est la plus dense. Or cette conclusion ne figure pas dans les propositions des *Rayons solaires*.

Pour fixer plus précisément les résultats obtenus par al-Kindī dans son fragment, lequel est reproduit presque mot à mot par Ibn ʿĪsā, à quelques différences près d'ordre rédactionnel, il nous faut rappeler la démarche suivie par al-Kindī dans les *Rayons solaires* lorsqu'il traite des miroirs sphériques concaves. Il commence par établir des propriétés pour tout miroir concave. Ainsi, dans la cinquième proposition, il montre qu'un rayon incident sur le miroir concave, et le rayon réfléchi qui lui correspond, déterminent dans la sphère des arcs égaux, et par conséquent des cordes égales. Dans la première partie, a, de la proposition 6, il montre que parmi les rayons incidents de direction donnée, le seul qui se réfléchit sur lui-même est celui qui passe par le centre de la sphère. Dans la seconde partie, b, de la même proposition 6, il montre que deux rayons symétriques par rapport à l'axe du miroir se réfléchissent en se coupant au même point de cet axe, point distinct du centre de la sphère. Il en déduit que tout rayon réfléchi correspondant à un rayon incident parallèle à l'axe du miroir et qui tombe en un point du cercle du miroir, coupera l'axe en ce même point.

C'est alors qu'il démontre la proposition 8 : si l'arc du miroir concave *ACB*, de milieu *C*, est égal à un tiers du grand cercle de la sphère qui achève le miroir, alors tout rayon tombant parallèlement à l'axe du miroir et sur le pourtour de celui-ci se réfléchit en passant par *C*. Al-Kindī démontre aisément cette proposition à l'aide des deux propositions 5 et 6b.

Dans cette proposition, il est vrai, al-Kindī ne traite que cette classe de rayons, et non pas *tous* les rayons tombant sur la surface du miroir. Il poursuit donc la tâche dans les deux propositions suivantes – la neuvième

et la dixième – dans lesquelles il examine en détail la position du point de rencontre d'un rayon réfléchi avec l'axe, en fonction de l'angle d'incidence, pour un arc inférieur ou égal à $\pi/3$. D'après cette étude, les rayons réfléchis correspondant aux rayons solaires tombant sur toute la surface du miroir dont l'arc générateur est un tiers du cercle, rencontrent l'axe sur le segment limité par le centre du miroir et le point *C*, milieu de l'arc, c'est-à-dire le segment *LC* de la figure précédente, égal à la moitié de *EC*.

La confrontation de la huitième proposition des *Rayons solaires* à la proposition d'al-Kindī conservée dans le fragment ainsi que dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, montre une sérieuse ressemblance : dans les deux cas, la démonstration est bâtie sur une propriété établie par al-Kindī dans la proposition 5, et sur une autre propriété de la proposition 6. Autant dire qu'al-Kindī, dans les *Rayons solaires*, a fait le nécessaire pour établir la proposition 8, tandis que dans le fragment il abrège un peu pour aller plus directement au but : construire le miroir sphérique concave. La même idée est donc reprise deux fois, dans un style un peu différent selon le but à atteindre.

De tels procédés de rédaction sont familiers à al-Kindī, non seulement en science, mais aussi en philosophie. Nous avons vu comment il lui arrive dans la *Rectification* de reprendre des idées développées dans le *De aspectibus*. En philosophie, il suffit de rappeler qu'il a plusieurs fois repris une argumentation équivalente pour soutenir la finitude du corps du monde[29]. Il serait cependant risqué, dans l'état actuel de nos connaissances, de prendre argument de cette supposition pour ordonner chronologiquement le fragment, c'est-à-dire le traité dont il faisait partie, et les *Rayons solaires*. Pour l'exemple précédent, on pourrait aussi bien soutenir que le fragment est un résumé de cette partie des *Rayons solaires*, et que celle-ci est un développement du premier.

Il est en revanche certain qu'Ibn ʿĪsā avait accès à un traité d'al-Kindī, où celui-ci, après avoir étudié la construction du miroir dièdre, a envisagé la construction du miroir sphérique concave. Parmi les titres qui nous sont parvenus, le traité consacré à la *Construction des miroirs ardents* est le meilleur candidat. Mais, qu'il s'agisse de ce titre ou d'un autre, ce traité devait comporter la construction d'autres miroirs – il n'y a aucune raison en effet pour qu'al-Kindī ait arrêté son étude au miroir sphérique concave. Mais là nos certitudes doivent laisser la place à des présomptions qui, si elles sont fortes, restent cependant un gage de la redécouverte des textes.

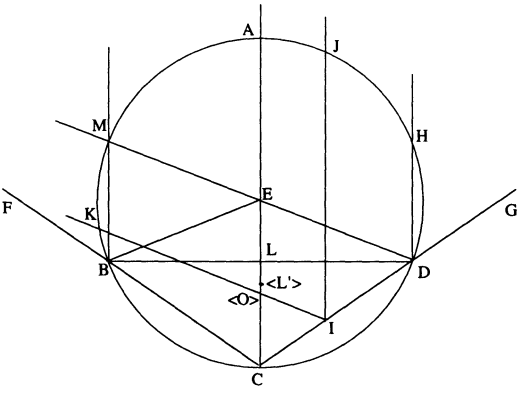
---

[29] Voir note complémentaire à la *Rectification*, p. 339.

3.3.1.2 *Un emprunt d'Ibn ʿĪsā au traité d'al-Kindī : le miroir ardent conique*

On vient donc de voir qu'Ibn ʿĪsā a emprunté deux propositions, dans l'ordre, à ce traité encore introuvable d'al-Kindī. A-t-il inclus dans ce chapitre de sa compilation d'autres propositions de ce traité ? Cette question s'impose. N'avons-nous pas montré en effet qu'il intègre à sa compilation le cinquième de la *Rectification* ? La seule méthode est de poursuivre l'étude des différentes propositions qui composent le même chapitre d'Ibn ʿĪsā, en les comparant à celles que nous connaissons d'al-Kindī, c'est-à-dire celles qui sont contenues dans les *Rayons solaires*.

Or, le premier résultat vient confirmer notre conjecture : la proposition suivante – la troisième – dans le chapitre d'Ibn ʿĪsā, est bien proche des deux propositions suivantes des *Rayons solaires* – la troisième et la quatrième ; mieux encore, celle-là semble être une reprise un peu rapide de celles-ci. C'est là une articulation importante de notre exposé, établissons-la en détail. Cette troisième proposition porte sur la construction d'un miroir conique. On considère alors un triangle isocèle gabarit d'un miroir conique d'axe AC ; soit BCD ce triangle. Le cercle limitant le miroir conique a pour axe AC et pour diamètre BD. E est le centre du cercle BCD. D'après la première proposition, tout rayon parallèle à AC, qui tombe en un point de ce cercle, est réfléchi vers le point E de l'axe AC. Soit HD un de ces rayons ; il est réfléchi suivant DE. Tout rayon tel que JI tombant sur CD parallèlement à AC est réfléchi suivant une droite IK parallèle à DE ; IK coupe AC en un point O du segment CE. De même tout rayon parallèle à AC qui tombe sur CB est réfléchi parallèlement à BE et rencontre l'axe. Ainsi les rayons réfléchis sur la surface conique en tous les points d'un cercle ayant pour axe l'axe du cône rencontre celui-ci en un point du segment CE. Ce point dépend évidemment du cercle considéré.



Notons que dans le dernier paragraphe du texte, on suppose que le milieu *L* de la corde *BD* est aussi le milieu *L'* du rayon *EC* ; ce qui n'est vrai que dans le cas particulier où *BC* = *CD* = *CE* ; l'arc *BCD* est alors un tiers du cercle.

Telle qu'elle se présente dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, cette proposition est destinée à la construction d'un miroir conique d'axe *EC* et de gabarit *EBCD*. On montre, on l'a vu, que tout rayon parallèle à l'axe tel que *JI* tombant sur *DC*, est réfléchi parallèlement à *DE* ; et que de même tout rayon parallèle à l'axe tombant sur *CB* est réfléchi parallèlement à *BE*. On en déduit, sans autre justification que :

> La position la plus dense ... sur laquelle tombent ces rayons qui se coupent les uns les autres, est donc sur le plan qui sépare *CE* en deux moitiés..., et ainsi sera l'embrasement du miroir ardent qui est au quart du diamètre du gabarit à partir duquel est construit le miroir.

Le texte donné par Ibn ʿĪsā continue :

> On a donc montré comment les rayons se réfléchissent et se coupent tous sur une même surface circulaire, et on a aussi montré le rapport de la distance de cette surface au centre du cercle <à sa distance> aux côtés du miroir sur la droite menée de son centre à sa circonférence. Ce qu'il fallait démontrer[30].

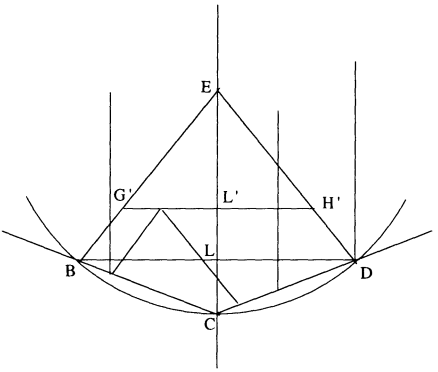
Il faut noter que ces conclusions ne se déduisent pas immédiatement de ce qui précède, et qu'elles n'ont pas été non plus de nouveau justifiées. Or elles l'ont précisément été dans les propositions 3 et 4 des *Rayons solaires* d'al-Kindī, et nous nous retrouvons en quelque sorte dans une situation identique à celle que nous avons rencontrée pour la proposition 2 du texte d'Ibn ʿĪsā. Il est peu probable que ce soit pure coïncidence.

Al-Kindī a en effet démontré dans la proposition 3 de son traité sur les *Rayons solaires* que, en tout point du segment *G'H'* séparé sur la médiatrice de *CE* par les rayons *BE* et *DE* se coupent deux rayons réfléchis correspondant à deux rayons parallèles à *EC* tombant, l'un sur la face *BC*, et l'autre sur la face *CD* [cf. figure ci-dessous]. Il en déduit dans la proposition 4 du même traité que, à tout point du cercle de centre *L'* engendré dans le plan médiateur de *EC* par la rotation du segment *G'H'* se coupent deux rayons réfléchis sur la surface conique. C'est donc sur ce cercle de diamètre *G'H'* que se trouvent, écrit al-Kindī, "les endroits des rayons réfléchis où la chaleur est la plus forte". Al-Kindī considère ensuite les rayons parallèles à *EC* tombant sur le cercle engendré par le point *B* qui se réfléchissent en passant par *E*, d'après la proposition 1. Il veut alors calculer les distances *LE* et *CE*, connaissant le rayon *BL* du miroir et la profondeur *LC* de celui-ci. Nous avons vu que son calcul est

---

[30] Appendice III, p. 663, *l.* 7-14.

incorrect. Enfin, nous venons de lire dans le texte d'Ibn ʿĪsā que l'on a calculé le rapport de $\frac{L'L}{L'C}$ avec $L' \neq L$.



Ce calcul, également absent du texte, est du type que l'on trouve à la fin de la proposition 4 des *Rayons solaires* d'al-Kindī. Il se réécrit, dans le cas qui nous intéresse ici, si on pose $CD = N$, génératrice du cône et $LC = P$.

$$CE = \frac{N^2}{2P},\ CL' = \frac{1}{2}CE = \frac{N^2}{4P},\ LL' = CL' - P = \frac{N^2 - 4P^2}{4P},$$

d'où

$$\frac{L'L}{L'C} = \frac{N^2 - 4P^2}{N^2}.$$

La comparaison entre les *Rayons solaires* et le texte donné par Ibn ʿĪsā sur le miroir conique nous rappelle la situation où nous nous sommes trouvé en lisant la proposition sur le miroir sphérique concave, à cette différence près que cette fois nous n'avons pas de texte témoin, comme le fragment d'Istanbul. On a pu montrer que les deux rédactions concourent vers un même but, donnent les mêmes résultats et suivent les mêmes méthodes ; mieux encore : ce qui manque au texte d'Ibn ʿĪsā se trouve dans les *Rayons solaires*. Dans celui-ci, al-Kindī établit pas à pas les propriétés de ce miroir ; dans celui-là, on fait quelques raccourcis, on néglige quelques justifications. Le texte d'Ibn ʿĪsā semble donc provenir de ce même traité d'al-Kindī auquel il avait déjà emprunté les propositions sur la construction du miroir dièdre et sur la construction du miroir sphérique.

Après cette dernière proposition sur le miroir conique, on rencontre encore plusieurs propositions consacrées aux miroirs ardents. Mais l'exposé change de nature et de style, la démarche devient plus incertaine,

parfois contradictoire, parfois simplement descriptive. Là, même s'il est possible de faire un rapprochement avec al-Kindī, un tel rapprochement reste trop lâche pour que nous l'avancions, même à titre conjectural. Expliquons-nous, même si cela nous éloigne un peu d'al-Kindī.

Les trois propositions suivantes du texte d'Ibn ʿĪsā – 4, 5 et 6 – portent sur le miroir concave. La quatrième indique comment choisir le gabarit d'un miroir concave pour embraser en un point situé à une distance donnée. Question classique, elle a préoccupé tous ceux qui, depuis Anthémius de Tralles tout au moins, se sont intéressés aux miroirs ardents. Le texte de la proposition est cependant bien confus, la figure est fausse (voir Appendice III), et les deux se contredisent sans qu'on puisse l'imputer au copiste. De plus, la présence du verbe *ṣāka* ("coller"), pour parler du rayon solaire ou visuel, qui n'appartient pas au vocabulaire d'al-Kindī, nous invite à la prudence. La proposition suivante, la cinquième, traite de l'utilisation de deux miroirs concaves pour obtenir, grâce aux rayons solaires, un embrasement dans la direction du premier miroir. Il s'agit en fait d'une simple description, sans la moindre tentative de démontrer : pratique bien étrangère à al-Kindī. De plus, même cette simple description de ce qu'on peut réaliser, ne se soucie nullement de préciser la position de l'axe du premier miroir par rapport à la position des rayons solaires. Dans la sixième proposition, on veut déduire les lois de la réflexion sur un miroir sphérique concave ou convexe de celles de la réflexion sur un miroir plan. Il ne s'agit donc pas d'une proposition destinée à la construction d'un miroir ardent – non plus d'ailleurs que les deux précédentes – mais tout au plus d'un lemme.

En revanche, la septième proposition porte sur la construction d'un miroir ardent composé d'un miroir concave et d'un miroir conique. Or cette proposition n'est pas sans rappeler, partiellement tout au moins, la onzième proposition des *Rayons solaires*. Il reste cependant quelques différences, et une certaine manière de formuler la question, qui nous incitent à la prudence s'il s'agit de conjecturer qu'elle aurait appartenu au livre d'al-Kindī sur la *Construction des miroirs ardents*.

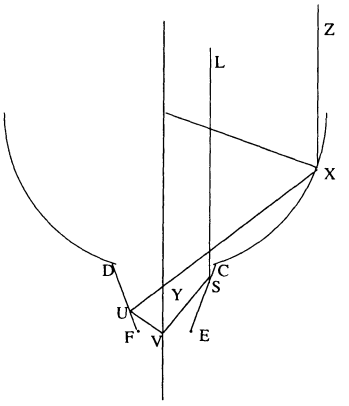
La proposition 7 du livre d'Ibn ʿĪsā se présente en termes équivalents à ceux-ci : construire un miroir ardent qui embrase en avant et en arrière. La formulation même rappelle celle que l'on rencontre dans la tradition catoptrique hellénistique tardive, ou même arabe, mais non dans les textes qui traitent des miroirs ardents. La proposition suivante – la huitième, qui provient de la tradition du Pseudo-Euclide (*De speculis*) – confirme cette impression :

Soit donc un miroir concave défini par l'arc *AB* d'axe *OI* ; soient *C* et *D* deux points symétriques par rapport à l'axe de cet arc. On enlève la partie du miroir correspondant à l'arc *CD*, et on la remplace par un miroir conique dont la base est le cercle de diamètre *CD*. Certains rayons tels que *GH* et *KJ* sont réfléchis sur le miroir concave, et se rencontrent

au point *I à l'avant* de ce miroir ; et certains autres tels que *MN* et *LS* tombent sur le miroir conique et sont réfléchis ; ils se rencontrent en *O à l'arrière* du miroir concave (Fig. 7, Appendice III, p. 670).

Venons-en maintenant aux *Rayons solaires*. Al-Kindī montre – proposition 11 – que les rayons tels que *ZX* dont l'incidence est $i > \pi/3$, sont réfléchis vers un point *Y* de l'axe extérieur à la sphère ; ils rencontrent l'axe si l'on fait une ouverture suffisante en soulevant une calotte sphérique.

Remarquons toutefois qu'al-Kindī ne considère pas un miroir conique pour remplacer cette calotte. De son côté, le texte d'Ibn ʿĪsā ne mentionne pas les rayons tels que *ZX*, réfléchis suivant *XY*, et qui tomberaient sur le miroir conique en *U* pour être réfléchis suivant *UV* ; c'est-à-dire les rayons qui intéressent le plus al-Kindī. Il est d'ailleurs clair que si l'on tient compte à la fois des rayons qui tombent directement sur le miroir conique, comme *LS*, et de ceux qui parviennent après réflexion sur le miroir concave, comme *XU*, on obtient un embrasement plus intense au point *V* de l'axe. Mais cette idée n'a pas effleuré le rédacteur du texte d'Ibn ʿĪsā, à moins que celui-ci comporte une lacune.



Les différences si nombreuses entre le texte de la proposition 7 d'Ibn ʿĪsā et celui de la proposition 11 des *Rayons solaires* nous incitent à suspendre tout jugement et toute conjecture ; observons seulement qu'à partir de la proposition 4 le texte d'Ibn ʿĪsā change de nature et de style, à tel point qu'on ne peut raisonnablement lui attribuer comme source la *Construction des miroirs ardents* d'al-Kindī. Mais les trois premières propositions semblent bien nous mettre sur les traces de ce dernier traité.

Notons pour finir que le texte d'Ibn ʿĪsā se poursuit avec une proposition sur l'embrasement par une lentille à l'aide de la seule

réflexion, et avec une longue compilation d'un texte sur le miroir ellipsoïdal d'après Anthémius de Tralles[31].

3.3.2 *La diversité des perspectives dans les miroirs : al-Kindī ou Qusṭā ibn Lūqā*

À la précédente étude des propriétés anaclastiques des miroirs succède dans le même chapitre et sous le même titre une recherche sur quelques propriétés catoptriques de certains d'entre eux. L'événement mérite une attention particulière, dans la mesure où la question qui donne le ton à tout ce chapitre porte également sur la *vision* par réflexion sur quelques miroirs ardents. Notons pour le moins, sous ce rapport, qu'au IXe siècle – si ce n'est avant – les barrières entre miroirs ardents et catoptrique n'étaient pas si infranchissables : c'est ce qu'atteste le livre d'Ibn Lūqā, et que confirme plus tard la compilation d'Ibn ʿĪsā. Cette cloison entre deux domaines, que certains historiens considéraient comme étanche, mérite d'être considérée. Mais, cette fois encore, on ne peut faire l'économie de la question de l'attribution du texte d'Ibn ʿĪsā dans ce chapitre : s'agit-il de sa propre contribution, ou de l'interpolation d'un texte d'al-Kindī ? Le doute n'est pas ici l'effet d'une règle de la méthode, mais la conséquence d'une banale induction. Ibn ʿĪsā a tant puisé dans les travaux d'al-Kindī qu'il nous est difficile d'écarter *a priori* cette éventualité lorsqu'il s'agit de ce chapitre. Celui-ci, nous l'avons vu, s'ouvre précisément sur un emprunt à l'un des écrits du philosophe, très vraisemblablement la *Construction des miroirs ardents*. A-t-il continué sur sa lancée, en interpolant le reste de son chapitre de ce même livre d'al-Kindī, ou d'un autre livre comme *Sur la diversité des perspectives dans le miroir*, ou encore d'un livre attribué à Ibn Lūqā ? Dans le premier cas, on aurait alors un livre sur les miroirs ardents, où l'on traite également des propriétés catoptriques de ces miroirs, c'est-à-dire un livre qui romprait avec la majorité des écrits connus de la tradition écrite sur les miroirs ardents ; possibilité qu'il faut se garder d'exclure. Le deuxième cas ne suggère aucune solution, puisque rien ne nous est parvenu de ce livre d'al-Kindī *Sur la diversité des perspectives dans le miroir*. Seul le titre nous est connu par les anciens biobibliographes, mais du traité, nous n'avons pour l'heure aucune trace. Cet ouvrage d'al-Kindī, on l'a sans doute noté, porte un titre semblable à celui de Ibn Lūqā, lequel nous est parvenu. Ibn Lūqā aurait-il composé un livre à l'exemple d'al-Kindī ? Questions qui reflètent notre ignorance et notre embarras : de deux livres d'al-Kindī encore introuvables, nous avons exhumé quelques vestiges du premier ; du second, nous n'avons pas la moindre trace. La seule lumière pointant de ces ténèbres nous vient du livre d'Ibn Lūqā, lequel a survécu.

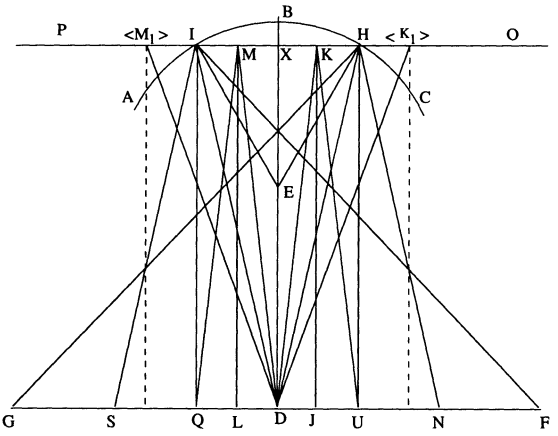
---

[31] Appendice III, p. 673-681.

Contemporain et collaborateur d'al-Kindī, Ibn Lūqā pourrait nous aider, non pas à résoudre les questions précédentes, mais à préciser quel fut le rôle exact d'Ibn ʿĪsā dans la rédaction de la seconde partie de ce chapitre, et, par conséquent, à formuler quelques conjectures justifiées. Cette seconde partie, on s'en souvient, avait pour ambition de déterminer "la cause par laquelle ... on voit le visage très grand dans un miroir ardent". Examinons donc les rapports entre les réponses données par Ibn ʿĪsā et celles que propose Ibn Lūqā.

3.3.2.1 *Miroir sphérique concave et miroir plan*

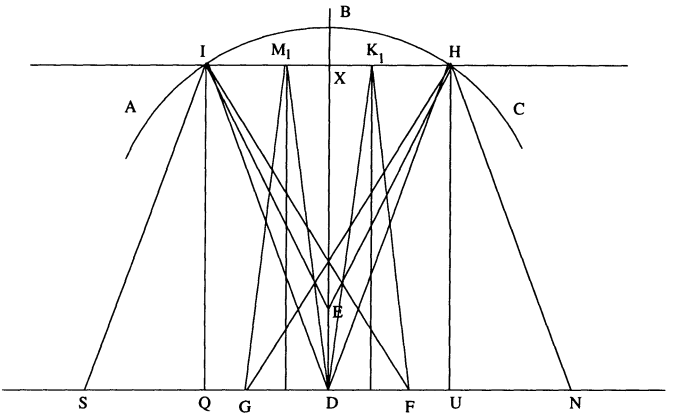
"Nous voulons montrer maintenant que dans les miroirs ardents les corps apparaissent plus grands que leur grandeur". C'est ainsi que commence la seconde partie de ce chapitre. On considère alors la partie *HBI* d'un miroir sphérique concave et le miroir plan défini par *HI*. Dans ce texte, on examine seulement le cas où l'œil *D* est sur l'axe *EB* du miroir concave *ABC*, *E* étant le centre de la sphère ; et on suppose $BD > BE$. L'auteur indique, en recourant aux lois de la réflexion, sur le miroir concave et sur le miroir plan, comment construire deux segments de la droite perpendiculaire en *D* à *EB*, qui seront vus de *D* sous l'angle *HDI*.



On voit *NS* dans le miroir plan, et *FG* dans le miroir concave. Dans le cas de figure *a* traité dans le texte, on a

(1) $FG > NS$.

Il reste toutefois que, tout en gardant l'hypothèse $BD > BE$, si D est assez proche de E (Fig. b), on peut avoir $FG < NS$.



L'auteur part ensuite de (1) pour construire l'angle sous lequel l'œil en D voit le segment FG dans le miroir plan. Pour cela, il fallait prendre la médiatrice de DG et la médiatrice de DF, d'où les points M_1 et K_1, au lieu des points M et K obtenus par l'auteur qui a pris les médiatrices de DQ et de DU, ce qui n'a d'ailleurs aucun intérêt car U et Q sont des points utilisés uniquement pour la construction des rayons réfléchis HN et IS.

Dans le cas de figure a – le seul étudié par l'auteur – on a alors $M_1\widehat{DK_1} > \widehat{IDH}$.

Le même segment FG vu dans le miroir concave sous l'angle DH apparaît donc *plus petit* que dans le miroir plan, où il est vu sous l'angle M_1DK_1.

Dans le cas de figure b, en revanche, $M_1\widehat{DK_1} < \widehat{IDH}$, et le segment FG apparaît dans le miroir concave *plus grand* que dans le miroir plan.

La conclusion du texte est donc vraie pour le cas de figure b, mais fausse pour le cas de figure a. Sans aucune justification, dans un dernier paragraphe, l'auteur mentionne que "l'analogue de cela se produit" si l'œil est dans une position D telle que $BX < BD < BE$, X étant le milieu de HI.

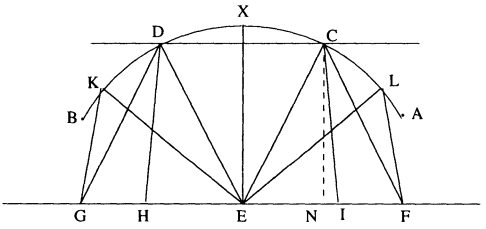
Or, ce cas est précisément étudié par Ibn Lūqā dans la proposition 24 de son traité *Sur les causes de ce qui se produit dans les miroirs à propos de la diversité des perspectives*. Ce dernier pose la même question : "Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir concave d'une grandeur supérieure à celle de sa grandeur réelle?". Purement catoptrique, cette question a été précédée dans le même livre, soulignons-le, d'une brève remarque sur la propriété anaclastique de ce miroir. Sept propositions auparavant, dans la proposition 17, Ibn Lūqā propose, parmi

les procédés pour vérifier (*yamtaḥin*) la concavité du miroir sphérique concave, d'estimer sa puissance d'embrasement ; car, écrit-il,

> Tout miroir concave à concavité sphérique embrase ; son embrasement se différencie cependant selon la distance à laquelle il embrase, et suivant la vitesse et au ralentissement. Quant à la différence de la distance de l'embrasement, elle est en raison de la différence de la concavité. Ainsi si la concavité est grande, l'embrasement se fera à une distance proche ; et si la concavité est petite, l'embrasement se fera à une distance lointaine. Quant à la différence en vitesse et en ralentissement, elle est en raison de la correction de la concavité et sa corruption. En effet, si elle est correcte, alors l'embrasement sera rapide, et si elle est imparfaite, alors l'embrasement sera lent[32].

Remarquons encore une fois que le savant du IXe siècle n'hésite pas, dans un livre de catoptrique, à évoquer les propriétés anaclastiques des miroirs ; et si Qusṭā le fait brièvement, peut-être est-ce parce qu'il avait consacré un autre livre aux miroirs ardents – c'est ce que nous apprennent les biobibliographes[33].

Venons-en à cette proposition 24, en conservant sa propre notation. Désignons donc par *O* le centre de la sphère, par *X* le centre du miroir concave, et par *E* la position de l'œil qui vérifie $XE < XO$.



Dans ce cas, sous le même angle *CED*, l'œil en *E* voit *FG* dans le miroir plan, et *HI* dans le miroir concave ; on a $HI < FG$.

Pour voir *FG* dans le miroir concave, il faut donc un angle plus grand que *CED*, comme l'angle *LEK*, afin que *LE* se réfléchisse suivant *LF* et que *EK* se réfléchisse suivant *KG*. Il faut donc trouver *L* pour que *OL* soit la bissectrice de l'angle *LEK* ; on en déduit alors *K* par symétrie. Mais cette dernière construction de *L* et de *K* n'est pas indiquée par Ibn Lūqā.

---

[32] Appendice II, p. 599, *l.* 13-19.

[33] En effet, al-Qifṭī lui attribue un livre sur les *Miroirs ardents*, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, p. 263. Notons d'autre part que Qusṭā ibn Lūqā lui-même évoque l'exemple des miroirs ardents comme un thème privilégié au même titre que l'heptagone régulier et les travaux des Banū Mūsā, voir Khalil Samir et P. Nwyia, "Une correspondance islamico-chrétienne entre Ibn al-Munaǧǧim, Ḥunayn ibn Isḥāq et Qusṭā ibn Lūqā", dans F. Graffin, *Patrologia Orientalis*, t. 40, fasc. 4, n° 185 (Turnhout, 1981), p. 674.

Comme $\widehat{LEK} > \widehat{CED}$, le même segment *FG* apparaît *plus grand* dans le miroir concave que dans le miroir plan.

Nous venons de voir que dans cette proposition – la vingt-quatrième – Qusṭā traite le miroir plan et le miroir concave. Dans la proposition 26 (cf. Appendice II) il ne considère plus que le miroir concave et montre que le segment vu dans celui-ci, quand l'œil se déplace sur l'axe du miroir, est *de plus en plus petit* quand la distance de l'œil au centre *X* du miroir augmente, tout en restant inférieure au rayon de la sphère. Qusṭā envisage le cas où la distance est supérieure au rayon de la sphère dans la proposition 32. Notons toutefois qu'il a considéré cette même hypothèse dans la proposition 30, pour pour un tout autre problème (cf. plus loin).

La comparaison des deux textes, celui d'Ibn ʿĪsā et celui d'Ibn Lūqā, montre donc que dans la première partie de chacun des textes, on s'efforce de déterminer les *deux* segments vus sous *un même angle* dans le miroir plan et dans le miroir concave. La méthode est la même. Dans la seconde partie de chacun des deux textes, l'idée est de comparer les deux angles sous lesquels on voit un même segment dans le miroir plan et dans le miroir concave. Dans le texte d'Ibn ʿĪsā, on part de l'angle sous lequel un segment est vu dans le miroir concave, et on donne une méthode simple pour construire l'angle sous lequel ce segment sera vu dans le miroir plan. Nous avons remarqué qu'à cet endroit il y a une erreur dans la construction, suivie d'une contradiction. Qusṭā ibn Lūqā, en revanche, part de l'angle sous lequel un segment est vu dans le miroir plan, et indique que l'on peut trouver l'angle sous lequel ce segment est vu dans le miroir concave. Il donne approximativement la position de cet angle, mais n'en donne pas une construction géométrique.

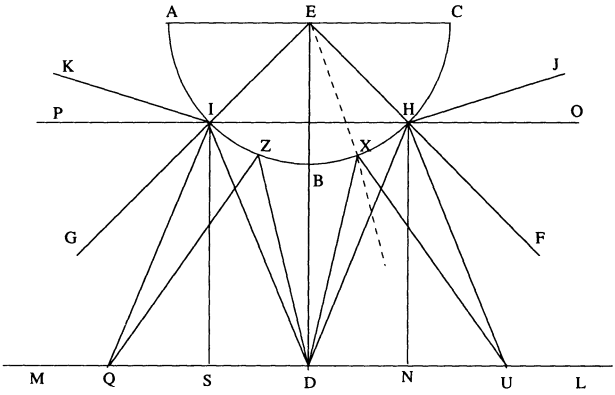
Nous nous trouvons devant une situation quelque peu singulière : les deux textes, celui d'Ibn ʿĪsā et celui d'Ibn Lūqā, sont bien proches, sans être identiques. Ils se présentent pour ainsi dire comme deux développements à partir d'une même source, deux rédactions à partir d'un même livre. Mais, avant de proposer une quelconque conjecture, poursuivons l'examen des autres miroirs, discuté dans le même chapitre d'Ibn ʿĪsā.

3.3.2.2 *Miroir convexe et miroir plan*

Après l'étude du miroir concave, on lit dans le livre d'Ibn ʿĪsā :

> Nous montrons également que le miroir convexe, c'est-à-dire celui dont la surface qui fait voir les choses, est comme la surface d'une portion de sphère, fait voir les corps d'une grandeur plus petite que s'ils apparaissent dans les miroirs à surfaces planes à partir des points dont la distance à l'œil est la même, lorsque les diamètres des miroirs sont parallèles aux diamètres des visibles et que le diamètre du miroir plan est égal au diamètre du miroir à surface sphérique. [Appendice III, p.689, *l.* 17-21]

On considère donc un miroir convexe *ABCD*, et *E* le centre de sa sphère. On considère la portion de ce miroir limitée par le cercle de diamètre *HI* et le miroir plan défini par ce cercle. L'œil est en *D* sur l'axe *BE* commun aux deux miroirs. Le plan du miroir est le plan *PO*. L'auteur commence par construire les rayons réfléchis sur chaque miroir pour les rayons incidents *DH* et *DI* ; sur le miroir plan, on aura *HU* et *IQ*, *U* et *Q* sur la perpendiculaire *ML* en *D* à l'axe *EB* ; sur le miroir convexe on aura *HJ* et *IK*. Ainsi on voit le segment *UQ* sous l'angle *HDI* dans le miroir plan, alors que dans le miroir convexe – dans le cas de figure considéré – les rayons réfléchis ne rencontrent pas la droite *ML*. L'auteur ne mentionne pas ce qui est vu à partir de *D* dans le miroir convexe (on verrait la droite *LM* entièrement).



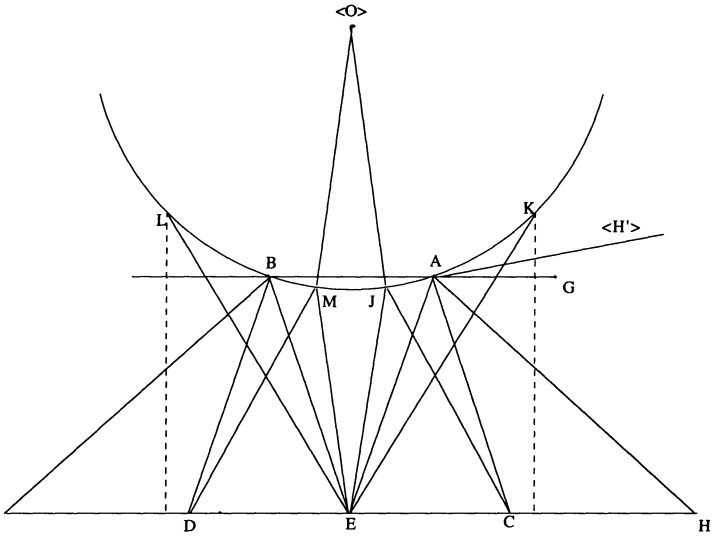
Pour qu'un rayon issu de *D* rencontre, après réflexion sur le miroir convexe, la demi-droite *DL*, il faut qu'il soit réfléchi en un point entre *B* et *H*. L'auteur considère un point *X* tel que le rayon *DX* se réfléchisse suivant *XU* ; et de même le point *Z* tel que *DZ* se réfléchisse suivant *ZQ*, sans toutefois indiquer comment construire les points *X* et *Z*. On a alors $\widehat{HDI} > \widehat{XDZ}$, et *le même segment UQ* est donc vu dans le miroir plan plus grand que dans le miroir convexe.

Qusṭā ibn Lūqā pose le même problème dans la proposition 23 de son livre, dans un cas de figure tel que tous les rayons réfléchis rencontrent la droite passant par l'œil et perpendiculaires à l'axe.

Gardons les notations d'Ibn Lūqā, et reprenons sa figure : *E* est la position de l'œil ; le segment *DC* est vu dans le miroir plan sous l'angle *AEB*, et le segment *HI* est vu dans le miroir convexe sous le même angle ; on a $HI > DC$.

Si l'on veut voir le segment *CD* dans le miroir convexe, il faut trouver un point *J* et un point *M* sur l'arc *AB* tels que les rayons *EJ* et *EM* soient réfléchis respectivement suivant *JC* et *MD*. L'angle *JEM* est plus petit que

l'angle *AEC*, donc le segment *CD* est vu dans le miroir convexe plus petit que dans le miroir plan.

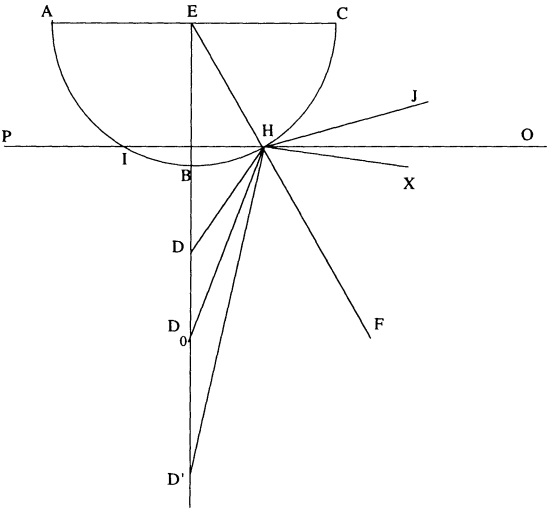


La comparaison de l'étude donnée par Ibn ʿĪsā à celle d'Ibn Lūqā montre que la seule vraie différence provient de la position de l'œil par rapport au miroir. C'est cette position qui a fait que dans la première partie du problème, l'auteur du texte d'Ibn ʿĪsā n'a pas obtenu un segment vu dans le miroir convexe sous l'angle *HDI*.

Dans la deuxième partie, les deux auteurs partent du segment vu dans le miroir plan sous l'angle donné, angle *HDI* dans le texte d'Ibn ʿĪsā et angle *AEB* pour Qusṭā, et ils cherchent l'angle sous lequel le même segment sera vu dans le miroir convexe. Tous deux donnent une position approximative de cet angle, mais sans fournir, ni l'un ni l'autre, de construction géométrique. Deux remarques s'imposent. La première porte sur cette construction ; la seconde sur la question de la position de l'œil.

Notons que, si l'on connaît, comme Ibn Lūqā, le segment *HI* – vu de *E* dans le miroir convexe sous l'angle *AEB* – on peut construire l'angle sous lequel le même segment est vu dans le miroir plan, par la méthode indiquée dans le texte d'Ibn ʿĪsā pour le miroir concave. Pour cela, on trace les médiatrices de *EH* et de *EI* qui coupent le miroir concave en *K* et en *L* ; le segment *HI* est vu dans le miroir plan sous l'angle *KEL* et dans le miroir convexe sous l'angle *AEB* ; on a $\widehat{AEB} < \widehat{KEL}$. Le même segment *HI* est donc vu dans le miroir convexe plus petit que dans le miroir plan. Si donc l'auteur du texte d'Ibn ʿĪsā avait obtenu dans la première partie de ce problème un segment tel que *HI*, il aurait sans doute proposé cette construction géométrique.

Venons-en à présent au problème de la position de l'œil, et reprenons les notations d'Ibn ʿĪsā. La droite *EHF* est normale à la sphère ; si donc D_0 est le point de l'axe *EB* tel que $\widehat{FHO} = \widehat{FHD_0}$, alors le rayon D_0H est réfléchi sur le miroir convexe suivant *HO*. Si maintenant l'œil est situé en *D*, entre D_0 et *B*, le rayon *DH* est réfléchi suivant *HJ*.



Si l'œil est situé en *D'*, au delà de D_0 , le rayon *D'H* est réfléchi suivant *HX* au-dessous de *HO*. C'est précisément dans cette hypothèse que Qusṭā ibn Lūqā fait son raisonnement dans la proposition 23, ainsi d'ailleurs que dans la proposition 25, dans laquelle il étudie ce qui a lieu quand l'œil s'éloigne de plus en plus du miroir. Cette étude est absente du texte d'Ibn ʿĪsā.

Notons que pour un point *H* donné, D_0 n'existe que si $\widehat{OHD_0} > 90°$, c'est-à-dire si le point *H* vérifie la condition $\widehat{BEH} < 45°$.

3.3.2.3 *Miroir sphérique concave et miroir cylindrique concave*

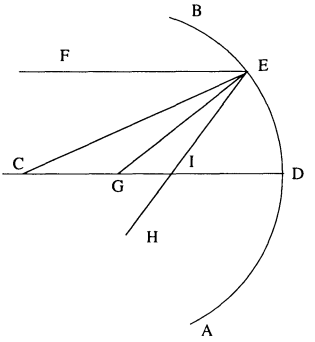
Dans la proposition 13 du même chapitre, Ibn ʿĪsā revient au miroir concave, celui qui est engendré par l'arc *ABC* d'axe *DG*, *G* étant le centre de la sphère, l'œil sur l'axe.

Le but est de montrer que ce miroir fait voir "les choses à l'opposé de leurs positions, c'est-à-dire non pas dans leurs positions, si la pupille est à l'extérieur du centre de la sphère du miroir, c'est-à-dire plus éloignée que le centre de sa sphère"[34]. Trois cas sont alors examinés :

---

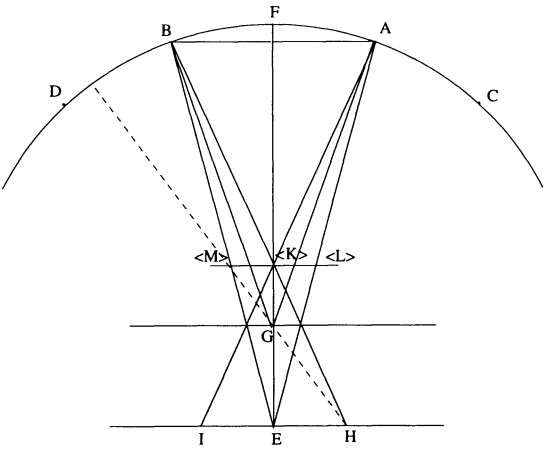
[34] Appendice III, p. 693, *l.* 22-24.

a) L'œil est au point *C* tel que *CD* > *GD* ; alors "on voit les choses à l'opposé de leurs positions"[35]. C'est le cas qui correspond à l'énoncé.
b) L'œil est au centre *G*, alors tout rayon issu de *G* tel que *GE* se réfléchit sur lui-même, et l'œil *G* ne voit en *E* que les points de *GE*.
c) L'œil est au point *I* tel que *ID* < *GD*, alors ce qui est dans la direction de *B* est vu dans la direction de *B*.



Le texte d'Ibn ʿĪsā est très confus, et l'auteur donne de longues explications sur la position du rayon réfléchi correspondant à un rayon incident, sans que la position "des choses" regardées ne soit vraiment précisée.

Le même problème a été étudié par Qusṭā ibn Lūqā dans la proposition 30 de son livre. Dans celle-ci, l'œil regarde le visage dans le miroir concave *CFD* d'axe *FG*, *G* étant le centre de la sphère ; l'œil est dans la position *E*, et le visage est représenté par le segment de droite perpendiculaire en *E* à l'axe *FG*. On suppose que le plan de la figure est horizontal.

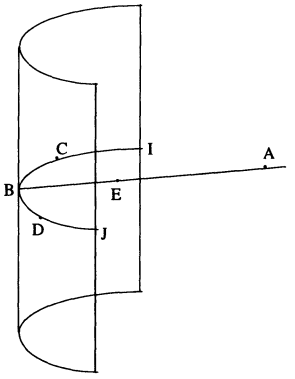


[35] *Ibid.*

Qusṭā ibn Lūqā suppose $FE > FG$ (le cas *a* d'Ibn ʿĪsā), et considère les deux rayons EA et EB de part et d'autre de l'axe FG, ainsi que les rayons réfléchis AI et BH qui leur correspondent, il est alors clair que le point I qui est à gauche de l'œil par rapport à l'axe EF est vu dans le miroir au point A qui est à droite de l'axe. De même le point H à droite de l'axe est vu au point B qui est à gauche. Qusṭā conclut en ces termes : "Le côté de H est opposé au côté de B, et le côté de I est opposé au côté de A. Les visibles sont donc vus dans le miroir AB à partir de la pupille, qui est en E, à l'opposé de leurs directions, la droite à gauche et la gauche à droite"[36]. Ibn Lūqā fait ensuite remarquer que, si on fait tourner le plan de figure autour de FE pour avoir un plan vertical, on montre de la même façon que l'on voit alors "ce qui est en haut, en bas, et ce qui est en bas, en haut ; le visage est donc vu inversé et ses parties visibles à l'opposé de leurs positions"[37].

Ibn Lūqā ne traite pas cependant le cas où l'œil est entre G et F. Si nous désignons par K l'intersection des rayons AI et BH, par L et M les intersections des rayons AE et BE avec la parallèle à AI menée par K, et si nous supposons l'œil au point K, $FK < FG$; il est alors clair que les rayons visuels KA et KB sont réfléchis respectivement suivant AL et BM. Le point à droite de l'axe est donc vu dans le miroir en A, à droite de l'axe, et le point M à gauche est vu en B à gauche. Ce cas non traité par Ibn Lūqā correspond au cas *c* d'Ibn ʿĪsā.

Ibn ʿĪsā vient ensuite, dans la proposition 14, au miroir cylindrique concave, dont le gabarit est un arc de cercle. Le cylindre est d'abord placé verticalement ; les deux bases sont horizontales, et un plan horizontal quelconque coupe la surface du cylindre suivant un arc IJ dont l'axe est la droite BE, E étant le centre du cercle.



L'auteur considère alors deux cas :

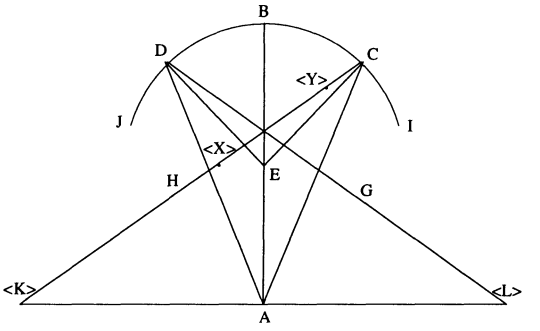
---

[36] Appendice II, p. 631, *l.* 7-9.
[37] *Ibid.*, p. 631, *l.* 12-13.

a) L'œil *A* est placé sur l'axe *BE*. Si *AB* > *BE*, "alors il fait voir ce qui est à droite de la pupille à gauche dans le miroir et ce qui est à gauche de la pupille, à droite dans le miroir"[38].

Le raisonnement se fait pour le miroir cylindrique à partir de l'arc *IBJ* dans un plan parallèle aux bases, comme pour un miroir sphérique d'axe *BE* engendré par cet arc. Ce problème a été traité dans la proposition précédente – 13 – du texte d'Ibn ʿĪsā, et dans la proposition 30 du traité d'Ibn Lūqā.

Dans cette proposition, 14, le texte donné par Ibn ʿĪsā est plus clair que celui de la proposition précédente – 13 – et la figure utilisée est proche de celle d'Ibn Lūqā dans sa proposition 30. Les rayons visuels *AC* et *AD* sont réfléchis respectivement suivant *CH* et *DG*. Les positions des points *H* et *G* ne sont pas précisées. L'auteur conclut ainsi : "toute chose sur la droite *CH* sera vue dans le miroir au point *C*"[39], ce qui est exact mais ne correspond pas à ce qui était dit dans l'énoncé, à savoir que ce qui est à gauche de la pupille apparaît à droite dans le miroir[40].



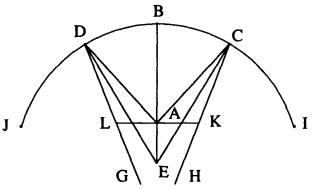
Si en effet on suppose que, dans le plan de la figure, la droite *EB* sépare la droite de la gauche, alors sur la droite *CH* un point tel que *X* est à gauche et sera vu en *C* à droite, et un point tel que *Y* est à droite et sera vu en *C* à droite. Il reste, comme dans le cas de la proposition 13, à préciser quels sont les points regardés. Si on désigne par *K* et *L* les intersections des rayons réfléchis *CH* et *DG* avec la perpendiculaire en *A* à l'axe *EB*, alors le point *L* à droite de *A* est vu à gauche en *D* dans le miroir, et le point *K* à gauche de *A* est vu à droite en *C* dans le miroir.

b) Ibn ʿĪsā considère ensuite le cas de la proposition 13 où *AB* < *EB*, mais ne fait pas de nouvelle figure. Le texte semble donc lacunaire. Si nous reconstituons cette figure, nous concluons comme dans le commentaire de la proposition 13 : *K* à droite de *A* est vu en *C* à droite de l'axe, et *L* à gauche de *A* est vu en *D* à gauche de l'axe. Si l'œil est au

---

[38] Appendice III, p. 697, *l.* 25-26.
[39] Appendice II, p. 701, *l.* 2.
[40] Appendice III, p. 697.

centre *E*, le rayon *EC* se réfléchit sur lui-même et tout point de *EC* sera vu dans sa position.



Dans la dernière partie de la proposition, le cylindre est placé horizontalement, les deux bases et le plan de l'arc *IJ* sont placés verticalement ; la corde *IJ* est supposée verticale et l'axe *BE* horizontal. On lit alors : " Ce qui est en haut sera vu en bas et ce qui est en bas sera vu en haut". Rien ne vient cependant justifier cette affirmation ; l'auteur se contente de dire que "le procédé est le même".

Il est clair que le raisonnement est bien le même, mais il faut, pour conclure, distinguer les cas $AB > EB$, $AB < EB$ et $AB = EB$, et préciser les positions des points regardés.

Cette dernière partie est à rapprocher du dernier paragraphe de la proposition 30 d'Ibn Lūqā, comme on l'a déjà vu dans le commentaire de la proposition 13 d'Ibn ʿĪsā.

La comparaison entre les deux textes, celui de Qusṭā ibn Lūqā et celui d'Ibn ʿĪsā, confirme donc qu'ils sont trop proches pour être vraiment indépendants, mais suffisamment éloignés sur certains points pour que le dernier soit une adaptation directe du premier. Nous avons notamment observé que dans les propositions 23 et 25 du traité d'Ibn Lūqā, qui portent sur le miroir convexe, ainsi que dans les propositions 24, 26, 30 et 32 du même traité relatives au miroir concave, le visible est représenté par une droite perpendiculaire à l'axe du miroir en un point qui est lui-même la position de l'œil. Cette solide hypothèse, qui surdétermine le problème, est également avancée dans le texte d'Ibn ʿĪsā : le visible, dans la proposition 11 relative au miroir concave et dans la proposition 12 qui porte sur le miroir convexe, est supposé dans la position où il se trouve chez Ibn Lūqā. En revanche, dans les propositions 13 et 14 du livre d'Ibn ʿĪsā, qui sont à rapprocher de la proposition 30 d'Ibn Lūqā, c'est en vain qu'on chercherait une quelconque indication sur la position du visible ; ce qui explique le manque flagrant de précision dans les conclusions d'Ibn ʿĪsā, et les différences entre les deux traités. Si donc la parenté des deux textes ne semble plus à établir, ces dernières différences nous interdisent néanmoins de réduire le texte d'Ibn ʿĪsā à celui d'Ibn Lūqā, sans justification supplémentaire. On soutiendra donc sans risque que tous deux appartiennent à la même tradition, repérable par ses problèmes et par ses méthodes. Or c'est précisément cette tradition qui s'est formée et développée à partir d'al-Kindī et autour de lui. Qusṭā ibn Lūqā, nous le

savons, est membre de ce que l'on nomme "l'école" d'al-Kindī ; quant à Ibn ʿĪsā, c'est un compilateur de ses écrits. Nous avons plus particulièrement montré que ce même chapitre qui nous intéresse ici s'ouvre précisément sur une compilation d'un écrit d'al-Kindī – argument supplémentaire qui nous incite à nous interroger encore sur les liens de cette fin de chapitre d'Ibn ʿĪsā avec al-Kindī.

Entre le texte d'Ibn Lūqā et celui d'Ibn ʿĪsā, il y a en effet quelques notables différences lexicales. Comme dans tout le traité, Ibn Lūqā recourt fréquemment à l'expression "rayon visuel" (*al-shuʿāʿ al-baṣarī*) ; chez Ibn ʿĪsā au contraire, ce terme disparaît au profit du mot "rayon" (*shuʿāʿ*). Or ce terme central de "rayon visuel", al-Kindī ne l'utilise qu'occasionnellement, dans les écrits que nous connaissons. En revanche, al-Kindī fait souvent appel au terme "pupille" (*al-nāẓir*), comme on peut le voir dans la *Rectification*. Or, s'il arrive à Ibn Lūqā d'utiliser ce terme, il lui préfère manifestement "l'œil" ou "la vue" (*al-baṣar*), si l'on en juge à la fréquence des occurrences de chacun. Dans le chapitre d'Ibn Īsā', c'est "pupille" qui est employé. Sans toutefois exagérer la valeur démonstrative d'un argument d'origine lexicale, nous en tirons cependant la conviction que ce chapitre d'Ibn ʿĪsā est plus proche qu'Ibn Lūqā de ce foyer de l'école d'al-Kindī.

Résumons à présent la situation : voici donc quelques propositions catoptriques liées par la question à laquelle elles sont censées répondre : comment certains miroirs ardents (sphériques concaves) et des miroirs sphériques convexes, modifient-ils la grandeur perçue de l'objet ? Ces propositions sont regroupées à la fin d'un chapitre dont tout le début vient pour l'essentiel d'un écrit d'al-Kindī. En outre, elles s'apparentent à quelques autres contenues dans un traité dont l'auteur est un membre de l'école d'al-Kindī. Enfin, ces propositions empruntent un lexique plus proche de celui d'al-Kindī que du vocabulaire d'Ibn Lūqā. On ne peut donc qu'affronter la difficile question de savoir si ces propositions n'ont pas été empruntées à un autre écrit d'al-Kindī *Sur la diversité des perspectives dans le miroir*. L'absence de cet écrit nous met face à trois possibilités, trois hypothèses de valeur inégale.

On peut d'abord envisager la simple reprise, un peu gauche, du traité d'Ibn Lūqā par Ibn ʿĪsā, ce qui rendrait superflu le passage par l'écrit d'al-Kindī. Mais deux arguments viendraient nous contredire : comment comprendre dans ce cas les écarts entre les deux textes ? Comment rendre compte du style de compilation d'Ibn ʿĪsā ? Nous l'avons vu plus d'une fois à l'œuvre : il procède par emprunt direct et massif, sans ajouter des propositions importantes, mais seulement quelques vérifications et quelques exemples supplémentaires.

On peut aussi supposer l'existence d'un texte grec traduit en arabe, qui aurait été la source commune à Ibn Lūqā et à Ibn ʿĪsā. C'est là le type même de conjectures dont certains historiens sont d'autant plus friands

qu'elles restent invérifiables. Dans le cas présent, on ne peut proposer aucun texte grec existant non plus qu'aucun texte arabe traduit du grec comme source commune. Si donc une telle source a existé, elle est absente des textes qui nous sont parvenus. Sans nier la possibilité qu'une catoptrique de nous inconnue eût existé, nous affirmons simplement que si tel avait été le cas, elle aurait très probablement été connue d'al-Kindī, ce qui donnerait lieu à des spéculations sans fin et compliquerait encore la situation. La lecture du traité d'Ibn Lūqā montre en effet qu'il aurait eu accès à une catoptrique où figuraient quelques propositions proches de celles que l'on trouve dans le texte attribué à Euclide ; auquel cas on pourrait raisonnablement penser qu'al-Kindī, qui dépendait entre autres d'Ibn Lūqā pour les écrits grecs, aurait connu cette possible catoptrique, qui lui aurait servi, comme à ce dernier, pour rédiger sa propre *Catoptrique*. Dans ce scénario, l'argument du "troisième homme" paraît d'autant plus superflu que la première partie de ce chapitre d'Ibn ʿĪsā provient d'al-Kindī.

Troisième possibilité : ces propositions auraient été empruntées par Ibn ʿĪsā au livre d'al-Kindī *Sur la diversité des perspectives dans le miroir*, avec quelques ajouts de l'initiative d'Ibn ʿĪsā, ou encore empruntés par lui à une autre source comme le *Sur les miroirs* du Pseudo-Euclide. Cette conjecture serait étayée par une autre, qui n'a rien de fantaisiste : al-Kindī et Ibn Lūqā, en s'inspirant des mêmes sources et en traitant du même thème, ont posé les mêmes problèmes. C'est cette hypothèse qui a pour l'heure notre faveur. Mais cette possibilité que nous entrevoyons d'une compilation par Ibn ʿĪsā non seulement de quelques propositions de la *Construction des miroirs ardents* – laquelle est certaine – mais aussi de la *Diversité des perspectives dans le miroir* – laquelle est vraisemblable – appelle encore bien des informations historiques et bibliographiques qui sont un gage d'avenir, et qui nous permettent d'espérer une meilleure connaissance d'al-Kindī catoptricien.

DEUXIÈME PARTIE

TEXTES ET TRADUCTIONS

Introduction

L'œuvre optique et catoptrique d'al-Kindī, désormais plus substantielle qu'on le croyait, une fois découverts la *Rectification* et les deux fragments – sur les grandeurs immergées dans l'eau et sur le miroir sphérique concave –, et restitué son traité sur les rayons solaires, ne se réduit cependant pas à ces écrits, auxquels on doit ajouter le *De aspectibus*. Nous avons en effet montré, grâce à ces mêmes fragments, d'ailleurs, et à la compilation d'Ibn ʿĪsā, qu'il manque encore d'autres travaux – tel que la *Diversité des perspectives dans le miroir*. En attendant, nous donnons l'édition *princeps* de tous ces textes, ainsi que leur première traduction. Mais il nous faut au préalable en compléter l'examen.

1. *La Rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'*Optique

Les problèmes posés par l'authenticité et l'attribution de cet ancien texte retrouvé ont été discutés au premier chapitre[1]. Reste encore à fournir les renseignements dont nous disposons sur le manuscrit, lesquels du reste se réduisent à bien peu. Le traité d'al-Kindī nous est parvenu en une seule copie, qui fait partie d'une collection de *mutawassiṭāt* ("livres intermédiaires"). Il s'agit de la collection n° 7580 de la Bibliothèque Marʿashī Najafī, en 172 folios, non datée, non plus d'ailleurs que les traités qui la composent. On cherchera en vain le nom des copistes ou des précédents propriétaires. On sait seulement que la collection vient du Waqf d'Ayāt Allāh al-ʿUẓmā Marʿashī Najafī, et donc qu'elle a pu être achetée aussi bien en Irak qu'en Iran. La numérotation des folios est d'une main récente.

Le traité d'al-Kindī occupe les folios 69^{v} à 102^{v}. Chaque page est de 202 × 168, de 17 lignes (exceptionnellement de 19 lignes). L'écriture est à l'encre noire, sauf le titre et les numéros des propositions, qui sont en *abjad*, et les figures géométriques, à l'encre rouge.

On repère plusieurs mains dans la copie du traité. Les folios 69^{v}-78^{v}, 89^{r}-96^{v} sont de la même main, en *naskhī* orientale, avec quelques traits en *nastaʿliq*. C'est sans aucun doute cette main qui a initialement transcrit

[1] Voir, chapitre 1.5, p. 52-66.

l'ensemble du manuscrit. Les folios 79r-88v ont été transcrits par une autre main, plus récente, en *naskhī* orientale soignée. Enfin, les folios 97r-102v sont d'une troisième main, en *naskhī* orientale. On pourrait invoquer plusieurs conjectures pour expliquer cette multiplicité de copistes, dont la plus plausible repose sur une pratique connue : on retranscrit les feuilles détériorées avant qu'il soit trop tard, pour ainsi sauver le texte. Même si cette conjecture exige un examen des papiers pour être avérée, notons pour l'heure que les parties recopiées commencent par de nouvelles pages (recto).

Mais, quelles que soient les pages du traité, on constate que les gloses sont rares. La majorité des ajouts en marge sont des mots ou des phrases omises par inadvertance au cours de la transcription. Le copiste revient pour les ajouter en indiquant presque toujours par un signe spécial le lieu où il faut les insérer. Ces ajouts sont toujours de la main du copiste. Restent deux gloses – folios 89r et 90r – où une phrase est ajoutée pour indiquer une déduction (très probablement par le copiste). Nous ignorons cependant si ces deux gloses sont le fait du copiste ou de son modèle.

À tout prendre, il semble que le texte d'al-Kindī a été honnêtement conservé, et que le manuscrit, tout en ayant une histoire quelque peu tourmentée, n'a pas subi d'avaries. Cela trouve confirmation dans la comparaison avec le texte copié par Ibn ʿĪsā. Les erreurs de copie, linguistiques ou mathématiques, omission d'un mot ou d'une phrase, sont certes nombreuses, mais sans excès. Nous les avons restituées, et nous nous sommes conformés pour établir le texte aux règles que nous avons maintes fois exposées, et dont nous allons rappeler quelques unes plus loin.

2. *Sur les rayons solaires*

Le traité d'al-Kindī *Sur les rayons solaires* (*Fī al-shuʿāʿāt al-shamsiyya)* porte sur ces rayons, leur propagation, leur réflexion sur les corps réfléchissants, leur focalisation à l'aide des miroirs ardents. Mais alors que le titre du manuscrit se présente sans l'épithète "solaire", celui-ci apparaît immédiatement dans la définition même de la science qui s'en occupe: "la science et la propagation des rayons solaires" (*ʿilm makhārij al-shuʿāʿāt al-shamsiyya*). L'absence du terme "solaire" du titre n'est nullement un problème superflu, étant donné les problèmes posés par la notion de "rayon" dans l'optique d'une part, et de la spécificité de l'étude d'al-Kindī dans ce livre d'autre part. Al-Kindī ne traite ici ni "du rayon visuel", ni du "rayon du feu", mais uniquement des "rayons solaires". Il reste cependant que les anciens biobibliographes évoquent le titre de ce

livre sans le terme "solaire". Al-Nadīm[2], ainsi qu'Ibn Abī Uṣaybi'a[3] plus tard, cite ce livre avec ce titre parmi les écrits d'al-Kindī. C'est sous ce titre que ce livre nous a été transmis par l'unique manuscrit n° 2048 de la bibliothèque de Khuda Bakhsh à Patna (Inde).

Ce manuscrit est en 18 feuillets, chaque page est de 95 ×135 mm, de 17 lignes en écriture *naskhī* soignée à l'encre noire, les titres et les lettres géométriques à l'encre rouge. Les figures géométriques sont elles aussi tracées soigneusement. Les pages sont numérotées probablement par le copiste qui a achevé la transcription au Caire "au début du second tiers de la nuit précédant le mardi sept du mois sacré Dhū al-qa'da, l'an huit cent quatre-vingt-dix de la Sainte Hégire", c'est-à-dire le 15 novembre 1485. Le manuscrit est d'une seule et même main, sans glose d'une autre main. Les seuls ajouts sont de la main du copiste : il s'agit de mots, d'une phrase oubliée au cours de la transcription, et d'une proposition pour une correction grammaticale. On s'attendrait avec un copiste si soigneux à avoir un texte sans bavure. Il n'en est cependant rien. Le manuscrit comporte deux accidents particulièrement graves et une foule de minimes difficultés. Or si ces dernières peuvent avoir des origines indéterminées et qui peuvent remonter à al-Kindī lui-même, le style et les usages linguistiques, les accidents graves proviennent sans aucun doute du modèle de notre copiste et se sont produits à un moment ou à un autre de l'histoire de la tradition manuscrite. Ces deux accidents consistent en la perte d'un paragraphe substantiel du texte d'al-Kindī. Le copiste laisse une demi-page blanche à la page 2 où la transcription s'arrête au milieu d'une phrase. Dans le paragraphe manquant, al-Kindī devait s'expliquer sur l'étude qu'Anthémius de Tralles consacre aux miroirs ardents. Plus loin, on a un accident semblable – le texte perdu comportait la fin de la proposition 14 et le début de la proposition 15.

Or il nous a été possible de restituer la majeure partie du premier texte ainsi que l'intégralité du second ; considérons-les successivement.

Les écrits d'al-Kindī commencent dans leur grande majorité par un prologue où l'auteur s'adresse à une tierce personne – un protecteur, un ami ou un élève –, en termes d'invocations et de prières, pour passer ensuite aux précisions sur la question posée et le thème à développer, mêlées parfois de remarques méthodologiques et critiques. Ce style d'exposition n'est pas le privilège d'un domaine particulier ; on le rencontre aussi bien dans les écrits philosophiques que dans les écrits scientifiques. Sous ce rapport, son livre sur les *Rayons solaires* n'est nullement une exception. Al-Kindī commence en s'adressant au calife en personne, vraisemblablement al-Mu'taṣim[4], ce qui nous donne une date

---

[2] Al-Nadīm, *Kitāb al-fihrist*, éd. R. Tajaddud (Téhéran, 1971), p. 317.

[3] Ibn Abī Uṣaybi'a, *'Uyūn al-anbā' fī ṭabaqāt al-aṭibbā'*, éd. Riḍā (Beyrouth, 1965), p. 290.

[4] En l'absence de toute information supplémentaire, d'une nouvelle source, les livres des anciennes Annales historiques et des biobibliographies nous laissent démunis pour

approximative de la composition de ce livre ainsi que de la traduction du livre d'Anthémius de Tralles[5]. Après ces invocations adressées aux califes, al-Kindī, comme à l'accoutumée, poursuit en rappelant l'intérêt du domaine, des miroirs ardents par les rayons solaires, avant de prodiguer les précisions supplémentaires. Toute cette partie manque à notre texte, à l'exception de la fin du paragraphe qui commence par le mot *aḥraqa* ("il a embrasé"). Il est manifeste, à la lecture du texte, que la coupure a eu lieu au milieu de la phrase, après "c'est-à-dire" (*a'nī*), jusqu'au milieu d'une phrase où se trouve le mot "il a embrasé". Dans le paragraphe suivant, al-Kindī nous informe que ce qui précédait est le propre dire d'Anthémius de Tralles. Or il est vrai que les dernières lignes de ce paragraphe sont mot pour mot une partie du texte d'Anthémius, tel que nous l'avons établi dans notre édition *princeps*[6]. Il suffisait donc de compléter la citation à partir du notre édition ; ce que nous avons fait. Il ne manque donc plus que peu de lignes où al-Kindī devait continuer son explication de l'intérêt de la pratique de cette branche de l'optique dans l'élévation de l'âme. On a donc, semble-t-il, la majeure partie du prologue.

L'autre accident a abouti à la perte de la fin de la quatorzième proposition et le début de la quinzième, incident passé curieusement inaperçu. Or il nous a été possible de restituer le texte de la fin de la proposition 14 et le début de la proposition 15, et de montrer par là-même que le livre d'al-Kindī est de quinze propositions (la quinzième, on le verra, est l'une des plus importantes historiquement et mathématiquement) et non de quatorze propositions, comme on l'a cru. Les autres difficultés de ce texte proviennent d'erreurs de copie, bien nombreuses, mais aussi d'erreurs linguistiques évidentes, et des usages limités, permis sans être grammaticalement canoniques.

Pour toutes ces raisons, dans l'édition *princeps* de ce texte que nous donnons aussi, nous appliquerons les règles que nous avons maintes fois expliquées; notamment de n'intervenir dans le texte qu'en cas d'extrême nécessité, pour rectifier une erreur linguistique ou scientifique qui rend le texte incompréhensible et, d'autre part, de ne pas modifier le texte sans avoir épuisé toutes les possibilités philologiques susceptibles de le

---

tout ce qui a trait à la vie d'al-Kindī, nous livrant ainsi aux conjectures. La plus plausible entre toutes est qu'il s'agit d'un Calife qui précède al-Mutawakkil, et qui n'était pas favorable à al-Kindī. Il s'agit donc d'al-Mu'taṣim ou d'al-Wathiq. À tout prendre, c'est plutôt pour le premier que nous penchons. C'est en effet lui qui avait confié son propre fils, Aḥmad, à al-Kindī, pour qu'il l'éduque. C'est à lui, et dans des termes équivalents, qu'al-Kindī dédie son livre important sur la *Philosophie Première*. C'est avec lui, enfin, qu'il partageait une certaine attitude rationaliste en théologie. Al-Mu'taṣim a régné entre 218/833 et 227/842. Al-Wathīq lui a succédé jusqu'à 232/847. Selon cette conjecture – qui n'est pas la seule mais qui nous semble aujourd'hui la plus plausible – c'est pendant cette période qu'al-Kindī a rédigé son livre.

[5] Al-Kindī cite Anthémius de Tralles dans les *Rayons solaires*. L'écrit sur les miroirs ardents était donc traduit – au moins partiellement – à cette époque.

[6] R. Rashed, *Anthémius de Tralles, Dioclès, Didyme et al.*

conserver en l'état. Nous préférons une expression grammaticalement quoiqu'à la limite de la correction mais qui est de l'auteur, à une autre, meilleure, mais qui n'est pas de ce dernier. Quant à la traduction française, nous optons pour une traduction littérale à condition qu'elle ne heurte pas le génie du français.

Ce texte d'al-Kindī n'a été ni établi, ni traduit jusqu'à présent, mais il a été récemment victime d'une légende et d'un malentendu. En 1967 en effet, M. Hāshimī a publié un petit livre au titre alléchant[7] où il énonce que le livre d'al-Kindī est "published as a photocopy with commentary"[8]. Toujours selon M. Hāshimī, il s'agit d'une photocopie d'un manuscrit découvert par M. Zakī al-Dīn à Patna[9]. Or nous avons jadis prévenu qu'il ne s'agit pas d'une photocopie du manuscrit 2048[10]. L'examen montre en revanche qu'il s'agit d'un photocopie d'une transcription récente (autour des années quarante de ce siècle) du manuscrit 2048. Malheureusement, cette copie récente photocopiée est fautive et désordonnée. Ainsi, l'examen montre notamment que:

1) Plusieurs phrases ont été oubliées au cours de la copie récente, par exemple fin 39-début 40, 42, etc.

2) Le copiste récent a mélangé les folios au cours de la transcription et a ainsi rendu la copie incompréhensible. On trouve dans le désordre les pages du manuscrit copiées ainsi : 35, 36 (jusqu'à la 4e ligne), 33, 34, 27, 28, 29, 30, 31, 32 (les deux premières lignes), 36 (à partir de la 5e ligne).

3) La reproduction photographique elle-même est en désordre, on doit lire : 42, 44, 45, 43, 46.

4) La page 46a est une répétition de la quasi-totalité de la page 43b.

Or dans la littérature consacrée à l'optique d'al-Kindī, tous les auteurs, sans exception, se réfèrent à cette reproduction photographique comme s'il s'agissait du texte d'al-Kindī, et sans signaler le désordre de la copie, ni le désordre de sa reproduction. Or, il me paraît difficile d'avoir une vue correcte du texte d'al-Kindī à partir de cette photocopie, pour ne rien dire de sa simple lecture[11].

---

[7] Y. Hāshimī, *Propagations of Ray: The oldest Arabic manuscript about optics (Burning-Mirorr) from Ya'kub ibn Ishaq al-Kindi. Published as photocopy with commentary* (Alep, 1967).

[8] *Ibid.*

[9] *Ibid.*, p. 23.

[10] J. Jolivet et R. Rashed, "Al-Kindī", *Dictionary of Scientific Biography*, vol. XI, Supplement I (1978), pp. 261-267.

[11] Il va de soi que les commentaires ou interprétations issus d'une prétendue lecture de cette photocopie exigent d'être entièrement repris.

3. *Les grandeurs immergées dans l'eau*

Le manuscrit 1647 Izmirli Ismail Hakkı, passé jusqu'ici inaperçu, comprend quatre textes, tous présentés sous le titre *Rasā'il Abū Yūsuf al-Kindī*. Ces traités se suivent dans cet ordre :

1) *Lā yumkin an yakun 'iẓm lā nihāya lahu bi-al-fi'l* – "Il ne peut exister une grandeur infinie en acte" ;
2) *Saṭḥ mā' al-baḥr kurī* – "La surface de l'eau de la mer est sphérique" ;
3) *A'ẓām al-ashkāl al-ghā'iṣa fī al-mā' kullamā ghāṣat turā a'ẓam* – "Les grandeurs des figures immergées dans l'eau sont vues plus grandes à meure qu'elles sont plus immergées" ;
4) *Kull mir'ā qawsuhā thulth dā'iratihā ... yan'akis al-shu'ā' al-awwal min nihāyatihā 'alā markaz al-mir'ā* – "Tout miroir dont l'arc est un tiers de son cercle ... réfléchit les premiers rayons de ses extrémités vers le centre du miroir".

Notons tout de suite que ce manuscrit est très récent, comme le montre l'examen du papier et de l'écriture, et qu'il est transcrit avec soin : le copiste n'omet pas – cf. apparat critique – de signaler la possibilité d'autres lectures lorsqu'elles existent. Dans son esprit, il n'y a aucun doute sur l'authenticité de son modèle, lequel pourrait bien encore se trouver quelque part. D'autre part, les titres précédents ne se présentent pas dans le manuscrit comme les titres des traités, mais comme les énoncés des propositions. Chacun d'eux est en effet précédé de l'une ou l'autre des expressions : "Abū Yūsuf a dit ...", ou "Il a dit ...". Il s'agit donc des propositions tirées de traités d'al-Kindī.

Le premier texte porte sur l'un des thèmes les plus centraux et les plus étudiés par le philosophe : l'impossibilité de l'infini actuel. Ce thème est abordé d'une manière trop spécifique, tant du point de vue stylistique que logique, pour pouvoir appartenir à quiconque d'autre qu'al-Kindī. Il suffit pour s'en convaincre de comparer ce texte aux études d'al-Kindī portant sur le même thème, dans *La philosophie première*[12], *L'éclaircissement de la finitude du corps du monde*[13], *L'essence de ce qui ne peut pas être infini*[14], *L'unicité de Dieu et la finitude du corps du monde*[15]. La communauté de langage, d'idées et de raisonnement révèle bien la plume d'al-Kindī.

L'énoncé du second semble être à la fois celui de la proposition et le titre d'un traité. Al-Nadīm mentionne en effet dans sa liste le titre "La surface de l'eau de la mer est sphérique". D'autre part, al-Kindī revient sur le même sujet en des termes analogues dans un autre traité intitulé :

---

[12] *Rasā'īl al-Kindī al falsafiyya*, éd. Abū Ridā, vol. I, p. 109, 114-116.
[13] *Ibid.*, p. 186-192.
[14] *Ibid.*, p. 194-198.
[15] *Ibid.*, p. 202-203.

Sur la sphéricité des éléments et du corps du monde[16]. Dans ce cas non plus, il n'y a pas le moindre doute sur l'authenticité du traité et sur son attribution.

Mais, avant de revenir au troisième, qui nous intéresse ici, notons d'abord une certaine similitude entre ces quatre textes qui composent le manuscrit d'Istanbul. Tous débutent directement, sans prologue, comme nous l'avons remarqué pour le troisième. Or, d'ordinaire, al-Kindī commence par un prologue, où il adresse une invocation à un protecteur, un ami, un élève, avant d'évoquer le thème qu'il va aborder. À cette différence, ajoutons-en une autre : l'existence d'un titre, d'une manière ou d'une autre. Or, ces textes sont tous les quatre privés de prologue ; trois au moins n'ont pas de titre, et, pour le quatrième, il semble que le titre et l'énoncé de la proposition soient identiques. Ce dernier, par exemple commence aussi directement par "Abū Yūsuf a dit : la surface de l'eau de la mer est sphérique, la démonstration de cela est ..."[17]. Ainsi, on a l'impression qu'il s'agirait d'extraits, de fragments, plutôt que de traités entiers, même si ceux-ci n'étaient pas nécessairement beaucoup plus longs.

Comme tous les autres, le troisième texte ne commence pas par le titre, "Les corps immergés dans l'eau", mais par l'énoncé de la proposition : "Il a dit : les grandeurs des figures immergées dans l'eau sont vues d'autant plus grandes que les figures sont plus immergées. Comme dans tous les autres cas, il s'agit plutôt d'un extrait du titre .

Revenons à présent à la compilation d'Ibn ʿĪsā. Ici, il semble procéder de la même manière qu'auparavant dans la *Rectification*. Le texte d'al-Kindī, ainsi que la figure qui l'accompagne, sont repris, à quelques différences rédactionnelles près, minimes, qui confirment encore davantage la compilation. Comme dans la *Rectification*, il élimine les expressions qui précisément peuvent montrer la compilation. Ainsi, au début du texte, al-Kindī écrit : "Il a été montré dans les liminaires de la perspective de nos livres (*qad tubayyina fī awā'il al-manāẓir min kutubinā*)" ; ce qui a été remplacé par : "il a été montré dans ce que nous avons introduit précédemment (*qad tubayyina fīmā qadamnā*)". Il reste cependant possible qu'Ibn ʿĪsā ait pu conserver quelques paragraphes absents du fragment. Comme les textes ne sont pas très longs, nous allons établir le texte d'al-Kindī, pour que le lecteur puisse lui-même le comparer avec la compilation d'Ibn ʿĪsā.

[16] *Ibid.*, vol. II, p. 48-53.
[17] Ms. Izmirli Hakkı 1647.

4. *Le miroir sphérique concave dont l'arc est un tiers de son cercle*

Il s'agit du quatrième fragment du manuscrit cité dans le paragraphe précédent, et sur lequel nous pouvons répéter mot pour mot ce que nous venons d'écrire à propos des *Grandeurs immergées dans l'eau*. Ce fragment a lui aussi été compilé par Ibn ʿĪsā et semble provenir du texte d'al-Kindī aujourd'hui perdu – la *Diversité des perspectives dans le miroir*.

1. TEXTE ET TRADUCTION

Épître de Abū Yūsuf Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī à certains amis sur la Rectification des erreurs et des difficultés dues à Euclide dans son livre appelé l'Optique

Kitāb Abī Yūsuf Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī ilā baʿḍ ikhwānihi fī taqwīm al-khaṭa' wa al-mushkilāt allatī li-Uqlīdis fī kitābihi al-mawsūm bi-al-Manāẓir

ÉPÎTRE DE ABŪ YŪSUF YA'QŪB IBN ISḤĀQ AL-KINDĪ À CERTAINS AMIS SUR LA RECTIFICATION DES ERREURS ET DES DIFFICULTÉS DUES À EUCLIDE DANS SON LIVRE APPELÉ L'*OPTIQUE*

Que Dieu se fasse cause de toute chose utile, et le guide qui mène à tout bien. Tu as demandé – que Dieu t'assiste dans ta quête du vrai – d'écrire un livre sur l'art d'Euclide, nommé l'*Optique*, de rectifier ce que nous y avons trouvé d'erronné, et d'élucider ses difficultés. J'ai écrit sur ce sujet autant que j'ai pu trouver convenir à tes vœux, bien que j'eusse écrit en optique un livre substantiel, qui dispense de celui-là, et qui comporte toutes les lois premières de cet art. Et cependant j'ai désiré ne pas manquer d'accéder à ta volonté dans ce livre. Qu'il puisse te satisfaire.

Une puissance lumineuse se disperse à partir de la pupille de l'œil et imprime dans tout l'air qu'elle rencontre une luminosité conique étendue, c'est-à-dire que son sommet est dans la pupille elle-même et à mesure qu'elle s'éloigne, sa base s'élargit ; ainsi la figure entourée par cette luminosité sera un cône cylindrique[1] dont le sommet est dans la pupille et l'extrémité touche ce qu'on regarde. Ce sur quoi tombe ce rayon[2], c'est-à-dire cette luminosité radiante, sera perçu par l'œil, et ce sur quoi ce rayon ne tombe pas ne sera pas perçu par l'œil. Ce cône sera alors comme le membre du vivant, par lequel la pupille sent tout ce qu'il touche des corps. Tout ce dont les deux extrémités sont touchées par les deux extrémités du rayon qui entourent un grand angle sera vu grand ; tout ce dont le rayon qui touche les deux extrémités entoure un petit angle, sera vu petit ; et tout ce qui est vu sous les angles de nombreux rayons paraît multiple et les choses vues sous des rayons d'angles égaux seront vues égales.

---

[1] Le mot cylindrique semble utilisé ici par al-Kindī pour distinguer un cône d'une pyramide.

[2] Rayon : il s'agit ici du faisceau lumineux conique. Dans ce texte, le mot "rayon" désigne tantôt un rayon lumineux, tantôt un faisceau.

كتاب أبي يوسف يعقوب بن إسحاق الكندي إلى بعض إخوانه في تقويم الخطأ والمشكلات التي لأوقليدس في كتابه الموسوم بالمناظر

صيرك الله سببًا لكلِّ نافعة وهاديًا إلى كلِّ خير.

سألتَ، وفقك الله لدرك الحق، رسمَ كتاب في صناعة أوقليدس الموسومة بالمناظر وتقويمَ ما رأينا فيها من الخطأ وإيضاحَ مشكلاتها. وقد رسمتُ من ذلك قدرَ ما رأيتُه موافقًا لإرادتك، مع أنّا قد رسمنا في المناظر كتابًا جليلاً مغنيًا عن هذا الكتاب محيطًا بالقوانين الأولى لهذه الصناعة، إلاّ أني أحببت ألاّ أتخلف عن بلوغ إرادتك في هذا الكتاب، فكنْ به سعيداً.

العين ينبث من ناظرها قوة نورية تؤثر فيما لاقت من الجو أجمع ضياءً صنوبريًا رحبًا، أعني مستحدّه عند الناظر نفسه، وكلما بعد اتسعت قاعدته؛ فيكون الشكل الذي يحيط به ذلك الضياء مخروطًا أسطوانيًا مستحدّه عند الناظر ونهايته تلي المنظور إليه. وما وقع عليه ذلك الشعاع، أعني ذلك الضياء الشعاعي، أدركَه البصر، وما لم <يقع عليه ذلك الشعاع لم> يدركه البصر. فيصير ذلك المخروط كالعضو للحيّ، <به> الناظر يحسّ كلَّ ما لامسه من الأجسام. وما كان نهايتا الشعاع المماسّ لنهايتيه يحيطان بزاوية عظيمة رئي عظيمًا، وما كان <الشعاع المماسّ لنهايتيه> يحيط بزاوية صغيرة رئي صغيراً، وما رئي بزوايا شعاع كثيرة ظهر كثيراً، والأشياء التي تبصر بزوايا شعاع متساوية تبصر متساوية.

4 بالمناظر: بالناظر – 7 رأينا: رلين – 9 المناظر: يذكر هذا الكتاب في *الصناعة العظمى*، ص ١٢٠ – 12 ينبث: يثبت / ناظرها: مناظرها – 18 كان: كانت.

– 1 – Euclide a dit dans la première de ses propositions : aucune chose parmi celles qu'on voit n'est vue tout entière en même temps, mais la vue se déplace d'une chose à l'autre ; on croit alors, en raison de la rapidité du déplacement, qu'on la voit tout entière en même temps.

70r Cette affirmation est manifestement erronée et incorrecte, car / le déplacement de la vue ne manque pas d'avoir une grandeur qui a une distance en longueur et en largeur ou qui n'en a pas, c'est-à-dire <qui est> un point. S'il en est ainsi, elle ne perçoit qu'un point, pour se déplacer ensuite à un point et ainsi elle ne perçoit rien du tout car le point n'a ni longueur, ni largeur, ni profondeur et ce qui n'a ni longueur, ni largeur, ni profondeur n'est pas perçu par la sensation et n'a pas de couleur. Ainsi la vue ne se déplace que d'une chose non sentie à une chose non sentie. Par conséquent, si la vue ne voit que point après point, alors elle voit ce qui est invisible, ce qui est une contradiction très choquante. Et si ce qu'elle voit d'abord et ce sur quoi elle se déplace en second lieu sont des choses ayant longueur et largeur, alors la vue ne voit pas seulement une chose d'un coup, mais voit d'un coup des choses nombreuses dans cette distance[3] qu'elle doit percevoir d'un coup et qui est celle qui est entourée par les deux extrémités du cône, si ce n'est que ce qui est sous la perpendiculaire menée de la pupille au centre de la base du cône est plus distinct pour la sensation et d'une visibilité plus correcte ; et à mesure qu'il s'éloigne de ce centre, il sera plus voilé de sorte que le visible le plus voilé sera celui qui est du côté des extrémités du rayon.

Je pense que c'est pour cela qu'Euclide s'est trompé : la vue ne perçoit pas ses visibles d'un coup car, parfois, elle cherche les lettres d'un écrit sans tomber sur elles, alors que l'écrit est vu tout entier sous son regard <qui> tombe ensuite sur elle[4] ; ils ont alors cru que la vue tombe sur elle, c'est-à-dire la lettre, après être tombé sur des choses autres qu'elle. Ainsi, comme il se produit pour une petite chose : si on la cherche par la vue dans la position dans laquelle elle est tombée, alors il se produit pour elle l'analogue de cela ; or ceci se produit quand[5] elle est éloignée du voisinage du centre du cône et de son axe ; et à mesure qu'augmente cet éloignement, la visibilité entoure ce qui la dépasse. Si la vue, par son mouvement, fait dévier l'axe du cône, de sorte qu'elle[6] touche l'axe du rayon ou que s'approche de son contact, elle[7] perçoit alors ce qu'elle cherche en raison de l'intensité de la clarté de la luminosité dense dans ce lieu. Ce sur quoi tombent des rayons plus nombreux sera vu plus distinct, d'après ce que nous allons montrer – si Dieu le veut.

---

[3] Distance a ici le sens de surface.
[4] Il sous-entend la lettre.
[5] Litt. : car.
[6] La petite chose.
[7] La vue.

<آ> وقد قال أوقليدس في أوّل أشكاله: إنه ليس شيء من المبصرات يبصر جميعًا معًا، وإن البصر ينتقل من شيء إلى شيء، فيُظنّ لسرعة انتقاله أنه يرى <جميعًا> معًا.

وهذا قول ظاهر الفساد والخطأ لأنه لا يخلو / انتقال البصر من أن ٧٠-و
يكون عنده من قدر له مسافة في الطول والعرض أو <لا> مسافة له، أعني نقطة؛ فإن كان إنما يدرك نقطة ثم ينتقل إلى نقطة، فليس يدرك شيئًا البتّة، لأن النقطة لا طول لها ولا عرض ولا عمق، وما لا طول له ولا عرض ولا عمق لا يدركه الحسّ ولا له لون؛ فإنما ينتقل من شيء غير محسوس إلى شيء غير محسوس. فإذاً البصر إذا كان ما يبصر نقطةً بعد نقطة، فهو يبصر ما لا يُبصر، وهذا خلف سمج جداً. وإن كان الذي يبصرُ أوّلاً وما ينتقلُ إليه ثانيًا أشياءَ ذوات طول وعرض، فليس إذاً البصر لا يبصر شيئًا دفعة، بل يبصر أشياء كثيرة دفعة في تلك المسافة التي له أن يدركها دفعة، وهي ما أحاط به نهايتا الصنوبرة، إلا أن ما تحت العمود الخارج من الناظر إلى مركز قاعدة الصنوبرة أبين للحسّ وأصدق رؤية، وكل ما بعد عن ذلك المركز كان أخفى، حتى يكون أخفى المنظور ما كان يلي نهايات الشعاع.

وأظنّ هذه العلّة هي التي غلّطت أوقليدس في أن البصر لا يدرك مبصراته دفعة لطلبه في بعض الأحايين الحروف من الكتاب فلا يقع عليها والكتابُ يُرى كله تحت نظره، ثم يقع عليه بعد <ذلك فظنوا أن البصر يقع عليه، أعني الحرف بعد> ما أنه كان يقع على أشياءَ غيره. وكما يعرض في الشيء الصغير: إذا طلب بالبصر في الموضع الذي وقع فيه، فإنه يعرض له مثل ذلك؛ وإنما يعرض ذلك لأنه يكون نائيًا عن مقاربة مركز الصنوبرة وعمودها، فعلى قدر تنائيه منها تحيط رؤيته بما جاوز. فإذا أحال البصر بحركته عمود الصنوبرة، فماسّ أو قارب مماسة عمود الشعاع، أدرك مطلوبه لشدّة إبانة ذلك الضياء الكثيف في ذلك الموضع. وما وقع عليه شعاع أكثر رئي أبين، بما نحن مبينون إن <شاء> الله.

4 يخلو: يخلوا – 11 إذاً: اذ – 13 نهايتا: نها – 14 للحسّ: الحس – 15 وكل ما: وكلما / أخفى (الأولى والثانية): اخفا – 20 ما: فطر – 21 طلب: طل.

La pupille a été convenablement préparée, sphérique et mobile, pour que la puissance animale la dévie vers ses visibles, qu'elle soit en haut ou en bas, ou à droite ou à gauche. À partir de chaque position de la pupille / 70v convexe – qui est une portion d'une surface sphérique – se disperse un rayon vers chaque position vers laquelle on peut mener une droite. Par conséquent, on peut mener de chaque position de la surface de la pupille un rayon jusqu'au centre. Quant à ce qui s'écarte du centre, à droite ou à gauche ou dans toute direction du plan de la base du cône visuel, il lui manquera le rayon <issu d'un point de la pupille>, à partir duquel une droite menée au visible coupera la sphère de la pupille, car la convexité de la sphère de la pupille la voile et l'empêche de l'atteindre.

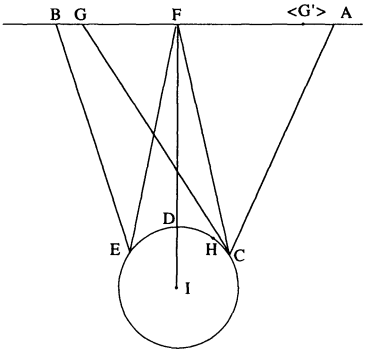
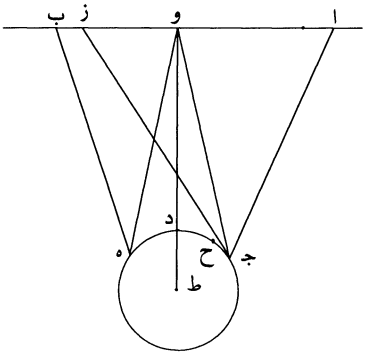


Fig. 1

Exemple : Supposons le visible près de la droite *AB*, la pupille un arc de cercle *CDE,* et la droite menée de *C,* qui est l'extrémité de la pupille, l'extrémité du rayon qui tombe sur *A*. Supposons *E* l'autre extrémité de la pupille, la droite menée de *E*, c'est-à-dire *EB,* l'autre extrémité du rayon. Menons du centre de l'arc du cercle, qui est la pupille, du point *I* un rayon jusqu'à la droite *AB* sur laquelle tombe le rayon au point *D*. Menons de *D*, que nous supposons séparer l'arc *CDE*[8], une droite jusqu'à *F* de la droite *AB*, c'est la perpendiculaire menée de la pupille au centre de la base du rayon dont le diamètre est la droite *AB*. L'arc *CDE* est beaucoup plus petit qu'un demi-cercle car la pupille en est une partie. C'est pourquoi on peut mener de *C* à la droite *AF*, de *E* à la droite *BF* et de tout point de l'arc *CDE,* une droite jusqu'à *F*. Ainsi on a mené de tout

[8] En deux moitiés.

وهو أن الناظر هُيأ كريًا متحركًا لتحيله القوة الحيوانية إلى مبصراته علواً كانت أو سفلاً أو يمينًا أو شمالاً. وكل موضع من الناظر / المقبَّب، ٧٠-ظ الذي هو قطعة من سطح كريّ، ينبث منه الشعاع إلى كل موضع أمكن أن يخرج إليه منه خطٌ مستقيم. فإذاً المركز يمكن أن يخرج إليه من كل موضع من سطح الناظر شعاعٌ، فأما <ما> زال عن المركز يمينًا وشمالاً وفي كل جهة من سطح قاعدة الصنوبرة الشعاعية، فإنه يغيب عنه شعاعُ ما كان إذا خرج منه خطٌ مستقيمٌ إلى المنظور إليه قطع كرة الناظر، لأن حدبة كرة الناظر تستره وتمنعه من المضي إليه.



مثال ذلك: أن نفرض المنظور إليه عند خط آ ب والناظرَ <قوس> دائرة جـ د ه والخطَّ المستقيم الخارج من جـ، التي هي نهاية <الناظر، هو نهاية> الشعاع الواقع على آ، ونفرض نهاية الناظر الأخرى <هـ> والخطَّ المستقيم الخارج من هـ، أعني ه ب، هو نهاية الشعاع الأخرى. ونخرج من <مركز قوس الدائرة التي هي الناظر من نقطة طـ خطًا شعاعيًا إلى خط آ ب الذي الشعاع واقع عليه على نقطة دـ، ونخرج من> دـ، ونفرضها فاصلة لقوس جـ د ه، خطًا مستقيماً إلى وـ من خط آ ب، فهو العمود الخارج من الناظر إلى مركز قاعدة الشعاع التي قطرها خط آ ب. وقوس جـ د ه أصغر من نصف دائرة كثيراً لأن منه الناظر. لذلك فيمكن أن يخرج من جـ إلى خط آ وـ ومن هـ إلى خط ب وـ ومن كل علامة في قوس جـ د ه خطٌ إلى وـ. فإذاً

1 هيأ: هئى – 2 علواً: عوا – 8 حدبة: حديد – 10 جـ: جر – 13 آ ب: ب و – 17 نصف: صححها في الهامش، لكن قد تقرأ «نصب» – 18 إلى خط ب وـ: خط إل و.

point d'un arc d'une portion de la surface de la sphère *CDE*[9], un rayon jusqu'au point *F*. Menons du point *C* une droite tangente à la surface de la sphère jusqu'au point *G* de la droite *AB* ; il est possible de mener du point
71r *C* un rayon à tout point entre *F* et *G*. Quant à tous les points qui sont entre *G* et *B*, on ne peut pas mener de droites du point *C* jusqu'à eux, car elles coupent la convexité de l'arc *CD* puisque, si *G* est le dernier d'entre eux, on peut mener de l'arc une droite jusqu'à *G* et on ne peut pas mener de *C* une droite jusqu'à un point autre que le point *G*[10] de la droite *GB*, sinon elle coupe l'arc *CD* dont la convexité empêche ainsi le rayon de tomber de *C* sur elle. De même pour les points qui sont sur l'arc *CD* au voisinage de *C* – qui est l'extrémité de la position à partir de laquelle on peut mener une droite jusqu'au point *G* / de la droite *FB* – comme le point *H*, on ne peut pas mener de ce point une droite jusqu'à un point entre *G* et *B*. Par conséquent, les rayons qui tombent sur tous les points proches de *B*, sont moins nombreux que ceux qui tombent au point *F*. Le procédé est le même pour la droite *FA* et pour toute la surface de la base du cône *CABE*. Par conséquent, les rayons qui tombent au point *F* sont plus nombreux que ceux qui tombent sur toute position de la surface de la base du cône, dont le diamètre est la droite *AB*. Ce qu'il fallait démontrer.

Quant à l'affirmation d'Euclide selon laquelle la vue tombe sur une chose après l'autre, il a donné pour démonstration de celle-ci son énoncé, car il a dit que pour les grandeurs *BE, EA, AD* et *DG*[11], la vue tombe d'abord sur *BE* et se déplace ensuite jusqu'à *EA*, puis jusqu'à *AD*, puis jusqu'à *DG*, donc elle ne voit pas d'un seul coup. Il ne nous a rien donné de plus, dans sa démonstration, que l'énoncé formulé.

– 2 – Parmi les grandeurs égales à des distances inégales, celles qui sont plus proches de l'œil sont vues plus distinctement et d'une visibilité plus correcte, si les droites menées à partir de la pupille jusqu'à elles séparent chacune d'elles en deux moitiés suivant des angles droits.

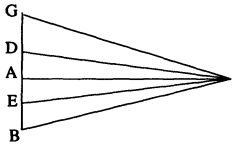
Exemple : La grandeur *AB* est plus éloignée de l'œil que la grandeur *CD*, elles sont égales, l'œil est le point *E* et la droite menée de la pupille à

---

[9] Il s'agit des points de la portion *CDE* de la sphère.

[10] C'est-à-dire un point au delà de *G* sur le segment *GB*.

[11] Ces grandeurs correspondent à la figure suivante, qui devrait être, selon l'affirmation d'al-Kindī, celle de la version par lui consultée de l'*Optique* d'Euclide. Le lecteur notera que la littération est différente aussi bien de A, que de G_1 et G_2.



قد خرج من جميع ‹قوس قطعة› سطح كرة جـ د ه شعاعٌ إلى علامة وَ. ‹ونخرج من علامة جَ خطًا مماسًا لسطح الكرة إلى علامة زَ من خط ا ب، فيمكن أن يخرج من علامة جَ شعاع إلى جميع العلامات التي فيما بين وَ وزَ›. فأما جميع العلامات التي فيما بين زَ وب، فليس يمكن أن يخرج من علامة جَ إليها خطوطٌ، لأنها تقطع حدبة قوس جـ د، لأن زَ - إذا كانت آخرها - يمكن أن يخرج منها خطٌ إلى زَ، فإنه لا يمكن أن يخرج من جَ خط إلى علامة غير علامة زَ من خط زَ ب إلا قطعت قوس جـ د، فسترت حدبته هذه الشعاع من أن يقع من جَ عليها. وكذلك النقط التي دون جَ من قوس جـ د - التي هي نهاية الموضع الذي يمكن أن يخرج منه خط إلى علامة زَ من / خط وَ ب - كعلامة حَ، لا يمكن أن يخرج منها خط إلى ٧١-و علامة فيما بين زَ وب. فإذاً كل النقط التي هي أقرب إلى ب، فإن الذي يقع عليها من الشعاع أقلّ مما يقع على نقطة وَ. وكذلك التدبير في خط وَ ا وفي جميع سطح قاعدة صنوبرة جـ ا ب ه. فإذاً الذي يقع على علامة وَ من الشعاع أكثر مما يقع على كل موضع من سطح قاعدة الصنوبرة التي قطرها خط ا ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وقول أوقليدس: إن البصر يقع على شيء ‹شيء› إنما صير برهانه عليه دعواه، لأنه قال: أعظام ب ه ا د د زَ يقع البصر هاهنا أوّلاً على ب ه ثم ينتقل إلى ه ا ثم إلى ‹ا د ثم إلى› د زَ، فليس يرى دفعة. فلم يعطنا في البرهان شيئًا أكثر من دعواه التي ادعى.

- بَ - المقادير المتساوية المختلفة الأبعاد، أقربها من البصر يُرى أبين وأصدق رؤية إذا كانت الخطوط المستقيمة الخارجة إليها من الناظر تفصلُ كلَّ واحد منها بنصفين على زوايا قائمة.

مثال ذلك: مقدار ا ب أبعد من البصر من مقدار جـ د، وهما متساويان، والبصر نقطة هَ، والخط المستقيم الخارج من الناظر إلى أحدهما

5 زَ: جـ - 6 منها: منه / زَ: و - 7 زَ: و / زَ ب: و - 11 النقط: النقطه.

l'une d'elles et qui la sépare en deux moitiés suivant des angles droits, sépare chacune d'elles en deux moitiés suivant des angles droits.

Je dis que la grandeur *CD*, la plus proche de la pupille, sera vue plus distinctement et d'une visibilité plus correcte que la grandeur *AB*, la plus éloignée de la pupille.

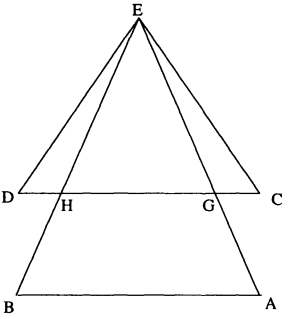


Fig. 2

Démonstration : L'angle *CED* est plus grand que l'angle *AEB*, donc le rayon tombant sur *AB* est le rayon tombant sur *GH* de la droite *CD*, et le rayon tombant sur *HD* et *CG* est l'excédent sur le rayon tombant sur *AB*, donc le rayon tombant sur *CD*, qui est la plus proche de *E* et égale à la grandeur *AB*, est plus grand que le rayon tombant sur *AB*. Par
71v conséquent le rayon tombant / sur *CD* est plus dense et d'une luminosité plus forte. Or les choses qui sont dans la lumière forte sont vues plus distinctement, la grandeur *CD* est donc vue plus distinctement que la grandeur *AB* qui lui est égale et d'une visibilité plus correcte. Ce qu'il fallait démontrer[12].

– 3 – Tout ce qui est regardé a une limite dans l'éloignement, et s'il la dépasse, il ne sera pas vu.

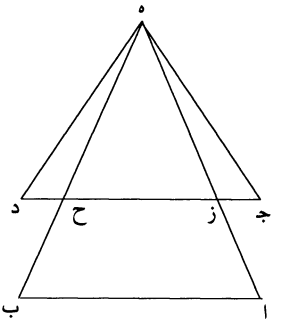
Euclide a mentionné que cela est dû à la disparition de l'angle et à son annulation, c'est-à-dire que sur ce qui est regardé ne tombe aucun rayon ; c'est pour cette raison qu'il a introduit une erreur grave afin d'établir cette proposition, pour lui-même[13]. En effet, il a posé que les rayons dispersés à partir de l'œil sont des droites en nombre infini entre lesquelles il y a un intervalle dans lequel il n'y a pas de rayons, et ainsi il a exigé l'impossible étant donné qu'il a exigé des droites, en acte, qui existent en nombre infini ; or il est impossible qu'une chose infinie soit en acte d'après les déductions philosophiques évidentes, comme nous l'avons montré en d'autres endroits de nos livres philosophiques. De même, il a

[12] Voir note complémentaire.

[13] Une traduction un peu éloignée du texte, mais qui donne le sens exact serait : "Il a commis une erreur grave afin de se convaincre de la vérité de cette proposition".

ويفصله بنصفين على زوايا قائمة يفصلُ كلَّ واحد منها بنصفين على زوايا قائمة.

فأقول: إن مقدار جـ د الأقرب من الناظر يرى أبين وأصدق رؤية من مقدار آ ب الأبعد من الناظر.



برهان ذلك: أن زاوية جـ ه د أعظم من زاوية آ ه ب، فالشعاع الواقع على آ ب هو الشعاع الواقع على ز ح من خط جـ د، والشعاع الواقع على ح د وعلى جـ ز زيادة على الشعاع الواقع على آ ب، فالشعاع الواقع على جـ د الأقرب من ه المساوي لعظم آ ب أكثر من الشعاع الواقع على آ ب. فإذاً الشعاع الواقع على / جـ د أكثف وأشدّ نوراً. والأشياء التي في النور ٧١-ظ الشديد ترى أبين، فعظم جـ د يرى أبين من عظم آ ب المساوي له وأصدق <رؤية>؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- جـ - كلُّ منظور إليه فله غاية من البعد إذا جاوزها لم يبصر.

أما أوقليدس، فذكر أن ذلك لتلاشي الزاوية وبطلانها، أيْ أن المنظور إليه لا يقع عليه شعاع بتّة، ولهذه العلّة أقدم خطأً عظيمًا ليصحّ له هذا الشكل عند نفسه. وذلك أنه قدّم أن الشعاع المنبث من البصر هو خطوط لا نهاية لها في العدد بينها فروج لا شعاع فيها، فأوجب محالاً، إذ أوجب أن خطوطًا بالفعل بلا نهاية في العدد موجودة؛ وهذا محال أن يكون

8 لعظم: العظم / آ ب (الأولى): ب - 14-15 شعاع بتة ... قدم أن: أثبتها في الهامش مع بيان موضعها - 14 ليصح: اليصح - 16 فروج: فرج - 17 موجودة: موجود.

prétendu que ce rayon est l'extrémité de la figure d'un cône formé à partir de ces droites et dont la base a la forme de la surface d'un cercle remplie de points entre lesquels il y a un intervalle, ces points étant les extrémités de ces droites. Il affirme ensuite que ce sur quoi tombe le rayon sera vu et ce sur quoi il ne tombe pas ne sera pas vu. Mais les points, chez lui comme chez tout mathématicien et tout philosophe, n'ont pas de parties, c'est-à-dire n'ont ni longueur, ni largeur, ni profondeur et ce qui n'a ni longueur, ni largeur, ni profondeur, ne sera pas perçu par la vue, car elle ne perçoit que les couleurs des corps étendues dans la dimension[14] du corps, donc celui qui n'a pas de dimension n'a pas de couleur et ne sera pas perçu par la vue. Par conséquent, si pour lui ces points n'ont pas de parties, alors ils ne seront pas visibles ; or il a dit qu'ils sont visibles, ils sont donc visibles et invisibles, ce qui est l'une des contradictions les plus choquantes et les plus détestables. De même, s'il admet que les lignes des rayons sont des perpendiculaires[15] dont les extrémités ont des longueurs et des largeurs, tout en ayant entre elles un intervalle qui ne contient pas de rayons comme il l'a prétendu, alors on ne peut pas voir un corps continu, mais on verra des points seulement entre lesquels il y a un intervalle et que le sens visuel ne perçoit pas. Or ce qu'on perçoit est différent de cela, étant donné que tout ce qui est senti par la vue est le senti <propre> à une chose continue et non interrompue. De son affirmation, il s'ensuit donc que la chose est sentie comme continue et qu'elle n'est pas sentie comme continue. S'il a d'abord posé que le rayon qui se disperse à partir de la pupille est comme des droites entre lesquelles il y a un intervalle, c'est seulement pour établir pour lui-même que si ce qu'on regarde est entre deux droites, parmi les droites du rayon, qui ne touchent pas ses extrémités et tel que rien du rayon ne
72r tombe sur lui, / alors il ne sera pas vu. Or la vérité l'aurait dispensé d'invoquer l'erreur.

Quant à nous, nous disons que la raison en est la petitesse de l'angle qui entoure les extrémités de ce qu'on regarde qui décroît jusqu'à une grandeur en-deçà de laquelle aucun sensible ne sera vu sous cet angle. Les éminents anciens mathématiciens s'accordent avec nous en cela, car pour ceux qui suivent la voie la plus directe vers un même but à partir d'un même commencement, le dernier suit nécessairement les pas du premier avant que ce dernier connaisse l'action du premier ; parmi eux, Ptolémée, qui est parvenu à la perfection en mathématiques et qui utilise dans ses conditions et dans ses démonstrations, les conditions et les démonstrations philosophiques dans les mathématiques ; et celui qui a suivi ses pas et qui est également distingué en mathématiques, Théon d'Alexandrie.

---

[14] Litt. : distance.

[15] Il s'agit de droites.

شيء لا نهاية له بالفعل بالمقاييس الفلسفية الواضحة كما بيّنا في غير موضع من أقاويلنا الفلسفية. وأيضًا، فإنه زعم أن هذا الشعاع منتهى هيئة شكل صنوبريّ من هذه الخطوط، قاعدته هيئة سطح دائرة مملوءة نقطًا بينها فروج، هي نهايات تلك الخطوط. ثم قال: ما وقع عليه الشعاع أبصر وما لم يقع <عليه> لم يبصر. والنقط عنده وعند كلّ رياضي وفيلسوف فإن لا جزء لها أي لا طول ولا عرض ولا عمق، وما لا طول له ولا عرض <ولا عمق> لا يدركه البصر، لأنه إنما يدرك ألوان الأجسام ممتدّةً في مسافة الجسم، فما لا مسافة له فلا لون له ولا يدركه البصر. فإذاً إذا كان عنده أن هذه النقط لا أجزاء لها فهي غير مبصرة؛ وقد قال إنها مبصرة، فهي إذاً مبصرة لا مبصرة، وهذا من أشنع المحال وأقبحه. وأيضًا لو سلّم أن خطوط الشعاعات أعمدة لنهاياتها طول وعرض إلاّ أن بينها فروج لا شعاع فيها، كما ادّعى، لم يكن يرى جسم متصل، بل كان يُرى نقطٌ أبداً بينها فروج لا يدركها الحسّ البصريّ. والمُدرك خلاف ذلك، إذ كل محسوس بالبصر محسوس شيء من متصل غير منقطع. فإذاً يجب من قوله إنه محسوس متصل لا محسوس متصل. وإنما قدم أن الشعاع المنبث من الناظر كخطوط بينها فروج ليصح له عند نفسه: أن المنظور إليه إذا صار بين خطين من خطوط الشعاع لا يماسان نهايتيه فلم يقع عليه / من ٧٢-و الشعاع شيء لم يبصر. وقد كان بالحقّ غنيًا عن استشهاد الباطل.

وأما نحن فنقول: إن العلّة في ذلك صغرُ الزاوية التي تحيط بنهايات المنظور إليه حتى تصير في قدر بُعْدَه لا يُرى بها محسوس. وقد وافقنا على ذلك مبرزو الرياضيين المتقدمين لأن السالكين أقصد السبيل إلى غاية واحدة من مبتدإ واحد، فباضطرار أن يطأ الأخير أثر الأوّل قبل أن يعلم الأخير فعل الأوّل؛ <و>منهم بطلميوس القلوذي الوافي علم الرياضيات والمستعمل في شرائطه وبراهينه الشرائط والبراهين الفلسفية في الرياضيات، والقافي أثره المبرزُ في الرياضيات أيضًا ثاون الإسكندراني.

مثال ذلك: خط $\overline{\text{ا ب}}$ نُظر إليه من جـ بزاوية ب جـ ا، ثم بوعد إلى موضع ه د فأبصر بزاوية ه جـ د. وزاوية ه جـ د أصغر من زاوية ب جـ ا؛

4 فروج: فرج / نهايات: نهليات، ثم أثبت الصواب في الهامش – 6 فإن: بام / لا طول: لخطوط – 9 أجزاء: جزا – 11 لنهاياتها: انهاياتها – 20 بعده لا يرى: البُعدة لير / وافقنا: دافعنا – 21 مبرزو: مبرزوا / أقصد السبيل: من تعبيرات الكندي، انظر *الصناعة العظمى* ص. ١٢٩ – 26 بوعد: توعد.

Exemple : On regarde la droite *AB* à partir de *C*[16] sous un angle *BCA*, on l'éloigne ensuite à la position *ED* ; elle sera vue sous l'angle *ECD*. L'angle *ECD* est plus petit que l'angle *BCA* ; mais ce qui est vu sous un angle plus petit apparaît plus petit. Si on l'éloigne jusqu'à la position *GH*, elle sera vue sous un angle *GCH* qui est plus petit que l'angle *ECD*. On continue, et à mesure qu'on l'éloigne, l'angle diminue et sa figure diminue et continue à diminuer jusqu'à ce que sa figure ne soit pas perçue par la sensation en raison de la forte diminution de l'angle, car l'angle dans ce cas est comme s'il était une chose dans rien et que sa grandeur par rapport à[17] la distance de ce qui est regardé n'était rien et comme si les deux droites qui se rejoignent au point de la pupille n'avaient pas entre elles de distance. Ce qu'il fallait démontrer.

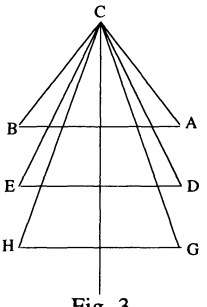


Fig. 3

– 4 – Parmi les grandeurs égales sur une même droite telles qu'on mène de la pupille à l'extrémité de la première une perpendiculaire, celle pour laquelle le trajet du rayon est plus long est vue plus courte.

Exemple : Supposons les grandeurs *AB, BC, CD*, égales sur la
72v grandeur *AD* ; supposons la droite *AE* / perpendiculaire, au point *A*, à la droite *AD* ; supposons la pupille au <point> *E* et menons des rayons suivant le trajet des droites *EB*, *EC* et *ED*.

Je dis que la grandeur *AB* sera vue à partir de *E* plus grande que la grandeur *CD*.

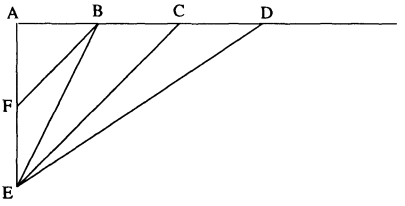
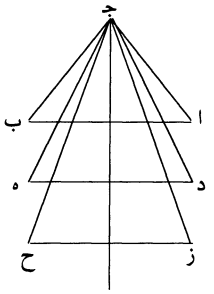


Fig. 4

[16] Al-Kindī ne précise pas la position du point *C* par rapport à *AB*, mais la figure laisse supposer que les trois segments *AB, DE, HG* ont la même médiatrice, et que *C* est sur cette médiatrice.

[17] Litt. : dans.

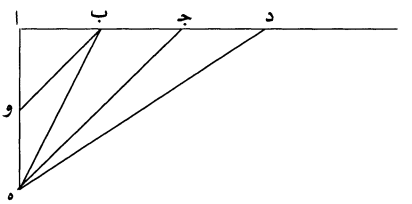
والذي يُرى بزاوية أصغر يظهر أصغر. فإن بوعد إلى موضع ز ح، رئي بزاوية ز جـ ح، وهي أصغر من زاوية ه جـ د. فلا يزال كلما بوعد صغرت الزاوية وصغر شخصه، فلا يزال يصغر حتى يصير شخصه لا يدركه الحسُّ لصغر الزاوية جداً، لأن الزاوية في تلك الحال كأنها شيء في ليس وقدرُها في البعد من المنظور إليه ليس وكأن خطيها المتصلين على نقطة الناظر ليس بينهما بعد؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.



– دَ – كل مقادير متساوية على خط واحد يخرج من الناظر إلى نهاية أولها عمود، فإن الذي سمت الشعاع إليه أطول يرى أقصر.

مثال ذلك: أن نفرض أقدار آ ب بَ جـ جـ د من قدر آ د متساوية، ونفرض خط آ ه / عموداً على علامة آ من خط آ د، ونفرض الناظر هَ، ٧٢-ظ ونخرج شعاعات على سمت خطوط مستقيمة ه ب ه جـ ه د.

فأقول: إن قدر آ بَ يُرى من هَ أعظم من قدر جـ د.



برهان ذلك: أن نخرج من علامة بَ في مثلث آ ب ه خطًا موازيًا لخط جـ ه ينتهي إلى خط آ ه عند علامة وَ، فقدر خط آ ه عند خط آ و كخط

10 ونفرض (الأولى): ويفرض – 12 آ بَ: ب.

Démonstration : Menons du point *B* dans le triangle *ABE* une droite parallèle à la droite *CE* et qui aboutit à la droite *AE* au point *F*, donc la grandeur de la droite *AE* par rapport à la droite *AF* est comme la droite *AC* par rapport à *AB*. Si nous séparons, alors la droite *AF* par rapport à la droite *FE* est comme la droite *AB* par rapport à la droite *BC*. Mais la droite *AB* est égale à la droite *BC*, donc la droite *AF* est égale à la droite *FE* et la droite *FB* peut les droites *AF* et *AB*, donc la droite *BF* est plus grande que la droite *AF*. Par conséquent, *BF* est plus grande que la droite *EF*. Mais le plus grand côté de tout triangle est intercepté par le plus grand angle, donc l'angle *FEB* qui intercepte *BF*, la plus grande, est plus grand que l'angle *FBE* qui intercepte la droite *EF*, la plus petite. Mais l'angle *EBF* est égal à l'angle *BEC*, donc l'angle *BEC* est plus petit que l'angle *FEB* et on voit la grandeur *AB* sous l'angle *AEB*, le plus grand, et on voit la grandeur *BC* sous l'angle *BEC*, le plus petit. Mais ce qu'on voit sous le petit angle est vu plus petit, donc la grandeur *BC* est vue à partir de *E* plus petite que la grandeur *AB*. Par ce procédé nous montrons que la grandeur *CD* sera vue plus petite que la grandeur *BC*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 5 – Si on regarde des grandeurs égales et parallèles, à des distances inégales, à partir d'une position de laquelle on peut mener une perpendiculaire jusqu'à elles, alors celle qui est plus proche de l'œil sera vue la plus grande d'entre elles.

Exemple : Supposons les deux grandeurs égales et parallèles, les grandeurs *AB* et *CD*, supposons *C* du même côté que *A* et supposons la position de la pupille le point *E* duquel on peut mener une perpendiculaire aux deux grandeurs *AB* et *CD*[18]. Supposons *AB* plus proche de la pupille qui est le point *E*.

Je dis que *AB* sera vue à partir de *E* plus grande que *CD*.

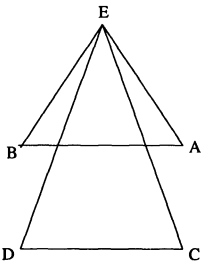


Fig. 5

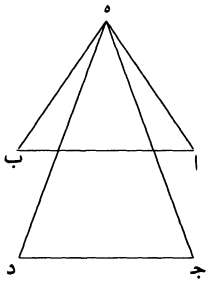
[18] Al-Kindī ne précise pas ici que cette perpendiculaire est la médiatrice commune à *AB* et *CD*, comme il l'avait fait dans la proposition 2, mais simplement que cette perpendiculaire est dans la bande *AC, BD*.

آ جـ عند آ ب. وإن فصلنا، فخط آ و عند خط و ه كخط آ ب عند خط ب جـ. وخط آ ب مساوٍ خط ب جـ، فخط آ و مساوٍ خط و ه، وخط و ب يقوى على خطي آ و آ ب، فخط ب و أعظم من خط آ و. ف ب و إذاً أعظم من خط ه و. والوتر الأعظم من كل مثلث يوتر الزاوية العظمى، فزاوية و ه ب التي يوترها ب و الأعظم أعظمُ من زاوية و ب ه التي يوترها خط ه و الأصغر. وزاوية ه ب و مساوية لزاوية ب ه جـ، فزاوية ب ه جـ أصغر من زاوية و ه ب، <وقدر آ ب> يُرى بزاوية آ ه ب العظمى، وقدر ب جـ يُرى بزاوية ب ه جـ الصغرى. والذي يُرى بالزاوية الصغرى يُرى أصغر، فقدر ب جـ يُرى من ه أصغر من قدر آ ب. وبهذا التدبير نبيّن أن قدر جـ د يُرى أصغر من قدر ب جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– ه – الأقدار المتساوية المختلفة الأبعاد المتوازية، إذا نُظر إليها من موضع يخرج منه إليها عمودٌ، فإن أقربها من العين يُرى أعظمها.

مثال ذلك: أن نفرض العظَمين <المتساويين و>المتوازيين قدري آ ب وجـ د، ونفرض جـ في جهة آ، ونفرض موضع الناظر علامة ه، ويمكن أن يخرج منها عمودٌ إلى عظمي آ ب وجـ د. ونفرض آ ب أقرب إلى الناظر الذي هو علامة ه.

فأقول: إن آ ب يُرى من ه أعظم من جـ د.



4 يوتر: توتر – 5 يوترها: توترها – 6 مساوية: مساو – 14 مثال: بامثال.

Démonstration : Menons les droites *AE* et *BE* et les droites *CE* et *DE* ;
73r / l'angle *AEB* est donc plus grand que l'angle *CED*. *AB* sera vue sous l'angle *AEB*, le plus grand, et *CD* sera vue sous l'angle *CED*, le plus petit. Mais ce qui est vu sous un angle plus grand sera vu plus grand, par conséquent *AB* vue sous l'angle *AEB*, le plus grand, sera donc vue plus grande que *CD* ; or elle lui est égale en réalité. Ce qu'il fallait démontrer.

– 6 – On voit les écarts entre deux droites parallèles – telles que la position de la pupille est sur la droite qui partage la distance entre elles et qui est leur est parallèle – de longueurs inégales, ce qui est le plus éloigné de la pupille sera vu beaucoup plus resserré et ce qui est le plus proche de la pupille sera vu beaucoup plus écarté.

Exemple : Supposons les deux droites parallèles les droites *AB* et *CD* ; supposons *C* du côté de *A*, et la position de la pupille *E* ; supposons *E* sur la droite qui partage[19] la distance entre les deux droites *AB* et *CD*, soit la droite *EJ* ; menons des droites qui coupent les deux droites *AB* et *CD* suivant des angles droits, elles sont donc parallèles ; soit les distances *BD*, *FH*, *GI*.

Je dis que les deux points *B* et *D* sont vus plus écartés que les deux points *F* et *H* et que *F* et *H* sont vus plus écartés que les points *G* et *I*, *G* et *I* étant plus éloignés de *E* que *F* et *H*, et *F* et *H* plus éloignés de *E* que *B* et *D*.

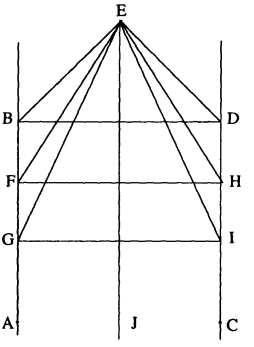


Fig. 6

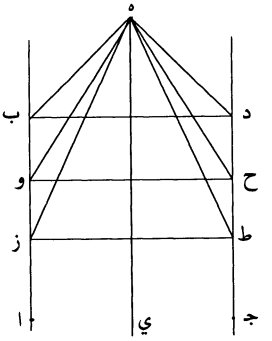
[19] Sous-entendu : en deux moitiés.

برهان ذلك: أن نخـــرج خطي آ ه ب ه مستقيمين وخطي جـ ه د ه مستقيمين، / فزاوية آ ه ب أعظم من زاوية جـ ه د. وآ ب يُرى بزاوية ٧٣-و
آ ه ب <العظمى> وجـ د يُرى بزاوية جـ ه د الصغرى. والذي يرى بزاوية أعظم يرى أعظم، فإذاً آ ب يرى بزاوية آ ه ب العظمى، فهو يرى أعظم من
5 جـ د، وهو مساوٍ له بالحقيقة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– وَ – الخطان المتـوازيان – اللذان مـوضع الناظر منهـمـا على الخط القاسم البعد الذي بينهما الموازي لهما – ترى أبعاد ما بينهما مختلفة الطول، وأبعدها من الناظر يرى أشدّ تقارباً وأقربها من الناظر يرى أشد تباعداً.

10 مثال ذلك: أن نفرض الخطين المتوازيين خطي آ ب وجـ د، ونفرض جـ في جهة آ وموضعَ الناظر هَ، ونفرض هَ على الخط المستقيم القاسم البعد الذي بين خطي آ ب وجـ د، وهو خط هَ يَ، ونخرج خطوطاً مستقيمة تقاطع خطي آ ب وجـ د على زوايا قائمة، فهي متوازية، وهي أبعاد ب د و ح ز ط.

15 فأقول: إن علامتي ب د ترى أشدّ تباعداً من علامتي وَ حَ ووَ حَ ترى أشدّ <تباعداً> من علامتي زَ طَ؛ وزَ طَ أبعد من هَ من وَ حَ، ووَ حَ أبعد من هَ من ب د.



15 ترى (الأولى والثانية): يرى، والجمع هنا جائز على تقدير أن أقلّ الجمع اثنان ولن نشير إلى مثلها فيما بعد – 16 وزَ طَ: المقصود هنا «إذا كانت زَ طَ» أو «إذ أن زَ طَ».

Démonstration : *BD* est vue à partir de *E* sous l'angle *BED*, le plus grand, *FH* est vue à partir de *E* sous l'angle *FEH* qui est plus petit que l'angle *BED* et *GI* est vue à partir de *E* sous l'angle *GEI* qui est plus petit que l'angle *DEH*. Par conséquent *BD* est vue plus grande que *FH* et *FH* est vue plus grande que *GI*, car ce qui est vu sous un grand angle est vu plus grand et ce qui est vu sous un petit angle est vu plus petit. Mais pour le plus grand les extrémités sont vues plus écartées que les extrémités du plus petit. Donc les deux points *B* et *D* qui sont plus proches de la pupille
73v sont vus plus écartés / que les deux points *F* et *H* qui sont plus loin de la pupille, étant donné que *FH* est vue plus petite que *BD*. Par le même procédé, nous montrons que les deux points *F* et *H* sont vus plus écartés que les deux points *G* et *I* qui sont plus éloignés de *E* que les deux points *F* et *H* qui sont plus proches qu'eux du point *E*. Par conséquent, les deux points *B* et *D* sont vus plus écartés que les deux points *G* et *I*, si la pupille est au point *E*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 7 – Soit deux droites parallèles telles que si on pose la pupille sur une droite parallèle à la droite qui partage la distance entre elles et qui leur est parallèle et si la pupille est plus haute qu'elles, c'est-à-dire qu'on peut mener de celle-ci une perpendiculaire à la droite qui partage la distance entre elles et qui leur est parallèle dans le plan des deux droites parallèles, alors elle voit les distances entre elles de longueurs inégales ; la plus éloignée de la pupille sera vue plus resserrée et la plus proche de la pupille sera vue plus écartée.

Exemple : Supposons les deux droites parallèles les droites *AB* et *CD* ; supposons *C* du côté de *A* et la position de la pupille le point *E* ; supposons *E* plus élevé que les deux droites parallèles, c'est-à-dire qu'on peut mener de celui-ci une perpendiculaire à la droite qui partage[20] la distance entre les deux droites parallèles *AB* et *CD* et qui leur est parallèle et dans le même plan, soit la perpendiculaire *EF*. Supposons la droite partageant la distance entre les deux parallèles *AB* et *CD* la droite *FG*, menons des droites à partir de la droite *AB* jusqu'à la droite *CD* telles que les intersections soient suivant des angles droits et telles que ces droites coupent la droite *FG* suivant des angles droits, soit la droite *HI* –

[20] Partage en deux moitiés.

برهان ذلك: أن ب د يرى من ه بزاوية ب ه د العظمى وو ح يرى من ه بزاوية و ه ح التي هي أصغر من زاوية ب ه د وز ط يرى من ه بزاوية ز ه ط التي هي أصغر من زاوية د ه ح. فإذاً ب د يرى أعظم من و ح وو ح يرى أعظم من ز ط، لأن ما رئي بزاوية عظمى يرى أعظم وما رئي بزاوية صغرى يرى أصغر. والأعظم ترى نهاياته أشدّ تباعداً من نهايات الأصغر، فعلامتا ب ود اللتان هما أقرب من الناظر تريان أشدّ تباعداً / من علامتي و ح اللتين هما أبعد من الناظر إذ يرى و ح أصغر من ب د. ٧٣-ظ
وبهذا التدبير نبيّن أن علامتي و ح تريان أشدّ تباعداً من علامتي ز ط اللتين هما أبعد من ه <من> علامتي و ح اللتين هما أقرب منهما إلى علامة ه. فإذاً علامتا ب د تريان أشدّ تباعداً من علامتي ز ط إذا كان الناظر على علامة ه؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– ز – كل خطين مستقيمين متوازيين، وضع الناظر منهما على <خط يوازي> الخط القاسم البعد الذي بينهما الموازي لهما، والناظر أعلى منهما، أعني يمكن أن يخرج منه عمود إلى الخط القاسم البعد الذي بينهما الموازي لهما في سطح الخطين المتوازيين، فإنه يرى أبعاد ما بينهما مختلفة الطول، وأبعدها من الناظر يرى أشدّ تقارباً وأقربها من الناظر يرى أشدّ تباعداً.

مثال ذلك: أن نفرض الخطين المتوازيين خطي آ ب جـ د، ونفرض جـ في جهة آ وموضعَ الناظر علامة <ه>، ونفرض ه أعلى من الخطين المتوازيين، أعني يمكن أن يخرج منها عمود إلى الخط القاسم البعد الذي بين خطي آ ب جـ د المستقيمين المتوازيين الموازي لهما وفي سطحهما وهو عمود ه و، ونفرض الخط القاسم البعد الذي بين متوازيي آ ب جـ د خط و ز، ونخرج خطوطاً من خط آ ب إلى خط جـ د تقاطعهما على زوايا قائمة وتقطع خط و ز على زوايا قائمة، وهي خطوط: ح ط – وهو الأقرب من ه

2 و ه ح: د ه ح – 13 البعد: للبعد، «القاسم البعد» هو تعبير الكندي عادةً وهو الأفصح / أعلى: اعلا، ولن نشير إليها فيما بعد – 14 البعد: للبعد – 24 وتقطع: ويقطع.

la plus proche de *E* – puis la droite *JK*, puis la droite *BD* et nous marquons là où la droite *FG* coupe la droite *HI*, le point *L*, là où la droite *JK* coupe la droite *FG*, le point *M* et là où la droite *BD* coupe la droite *FG*, le point *G*. Les droites *EL*, *EM* et *EG* sont perpendiculaires aux droites *HI*, *JK* et *BD*. Menons les droites *EI*, *EK*, *ED*, *EH*, *EJ* et *EB*, donc
74r l'angle *ELH* est droit, l'angle *EMJ* est droit, l'angle / *EGB* est droit, les droites *HL*, *JM* et *BG* sont égales et la droite *FG* est plus grande que la droite *FM* ; la droite *EG* est donc plus grande que la droite *EM*, donc l'angle *BEG* est plus petit que l'angle *JEM* et l'angle *BED* est le double de l'angle *BEG*. De même, l'angle *JEK* est le double de l'angle *JEM* ; par conséquent la droite *BD* est vue à partir de *E* plus petite que la droite *JK*, car ce qui est vu sous le petit angle est vu plus petit. Par le même procédé, nous montrons que l'angle *JEK* est plus petit que l'angle *HEI*, donc la droite *JK* est vue à partir de *E* plus petite que la droite *HI*. Ce qu'il fallait démontrer[21].

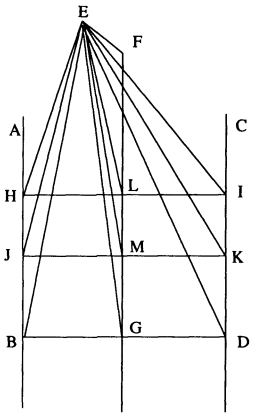
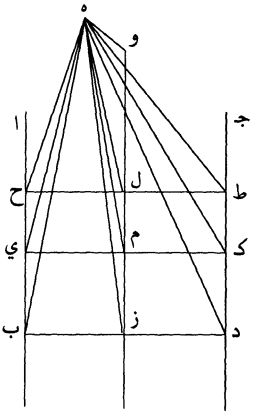


Fig. 7

– 8 – Pour des grandeurs égales situées sur une même droite dans des lieux dispersés, à des distances inégales de l'œil, si la pupille est par rapport à cette droite dans une position à partir de laquelle on peut mener

[21] Voir note complémentaire.

– ثم خط ي ك ثم خط ب د ، ونتعلم حيث قاطع خط و ز خط ح ط علامة ل، وحيث قاطع خط ي ك خط و ز علامة م و<حيث قاطع> خطٌ ب د خطَّ و ز علامة ز. فخطوط ه ل ه م ه ز أعمدة على خطوط ح ط ي ك ب د . ونخرج خطوط ه ط ه ك ه د ه ح ه ي ه ب، فزاوية ه ل ح قائمة
5 وزاوية ه م ي قائمة وزاوية / ه ز ب قائمة، وخطوط ح ل ي م ب ز ٧٤-و متساوية، وخط و ز أعظم من خط و م، <فخط ه ز أعظم من خط ه م>، فزاوية ب ه ز أصغر من زاوية ي ه م وزاوية ب ه د ضعف زاوية ب ه ز. وكذلك زاوية ي ه ك ضعف زاوية ي ه م، فإذاً خط ب د يرى من ه أصغر من خط ي ك، لأن الذي يرى بالزاوية الصغرى يرى أصغر. وبهذا التدبير
10 نبيّن أن زاوية ي ه ك أصغر من زاوية ح ه ط، فخط ي ك يرى من ه أصغر من خط ح ط؛ وذلك ما أردنا أن نبين.



– ح – المقادير المتساوية الموضوعة في أماكن متفرقة مختلفة البعد من البصر من خط مستقيم واحد ، إذا كان الناظر من ذلك الخط في موضع

des droites aux extrémités des grandeurs écartées, coupant cette droite de laquelle et sur laquelle sont les deux grandeurs, alors les grandeurs seront vues de grandeurs inégales.

Exemple : Supposons les deux grandeurs égales les deux droites *AB* et *CD* sur la droite *ABCD*, et la pupille le point *E*. On peut mener du point *E* des droites qui coupent la droite *AD* aux deux points *A* et *D*.

Je dis que les grandeurs *AB* et *CD* sont vues de grandeurs inégales à partir du point *E*.

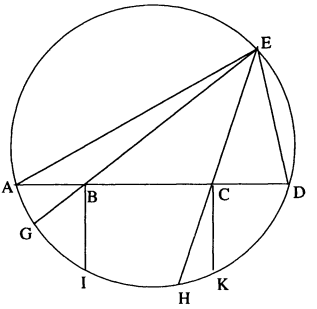


Fig. 8

Démonstration : Menons les deux droites *AE* et *ED* et circonscrivons le cercle *ADE* au triangle *ADE*. Menons de *E* à *B* une droite qui aboutit sur l'arc *AD* au point *G* et de *E* à *C* une droite qui aboutit sur l'arc *GD* au point *H*. Élevons en *B* une perpendiculaire qui aboutit au <point> *I* sur l'arc *DHG*, et en *C* une perpendiculaire qui aboutit en *K* sur l'arc *GHD*. La grandeur *AB* est donc <entre> les deux extrémités du rayon entouré par les deux droites *AE* et *GE* et la grandeur *CD* est <entre> les extrémités du rayon entouré par *EH* et *ED*. Mais *AB* est égale à *CD*, donc la perpendiculaire *BI* est égale à la perpendiculaire *CK*, l'arc *AGI* est donc égal à l'arc *DK*[22], l'arc *AG* est plus petit que l'arc *DK* et l'arc *DK*
74v est plus petit / que l'arc *DKH*[23], donc l'arc *AG* est beaucoup plus petit que l'arc *DKH*. Mais les angles qui sont dans le cercle et <dont les sommets> sont sur la circonférence ont des rapports les uns aux autres égaux aux rapports de leurs bases sur les arcs les unes aux autres. Le

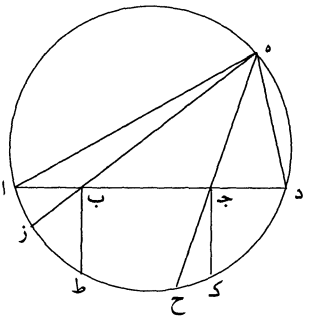
[22] La médiatrice de *AD* est axe de symétrie pour le cercle et pour les segments *AD* et *BC*, elle l'est donc aussi pour les perpendiculaires *BI* et *CK* ; on en déduit *BI* = *CK* et arc *AI* = arc *DK*.

[23] Voir note complémentaire.

يمكن أن يخرج منه إلى نهايات المقادير المتباعدة خطوطٌ مستقيمة تقاطع ذلك الخط الذي المقداران منه أو عليه، ترى مختلفة في العظم.

مثال ذلك: أن نفرض المقدارين المتساويين خطي آ ب جـ د من خط آ ب جـ د المستقيم والناظرَ علامة ‹هـ›. ويمكن أن يخرج من علامة هـ خطوطٌ تقاطع خط آ د على علامتي آ د.

فأقول: إن مقداري آ ب جـ د يريان من علامة هـ مختلفي الأقدار.



برهان ذلك: أن نخرج خطي آ ه ه د مستقيمين ونخطُّ على مثلث آ د ه دائرة آ د ه، ونخرج من هـ إلى ب خطًا مستقيمًا ينتهي، من قوس آ د، إلى علامة زَ، ومن ‹هـ› إلى جـ خطًا مستقيمًا ينتهي، من قوس ز د، إلى علامة ح، ونقيم على ب عموداً ينتهي إلى ط من قوس د ح ز وعلى جـ عموداً ينتهي إلى كـ من قوس ز ح د. فقدر آ ب نهايتا الشعاع المحيط به خطا آ ه ز ه، وقدر جـ د نهايتا الشعاع المحيط به ه ح ه د. وآ ب مثل جـ د، فعمود ب ط مثل عمود جـ كـ، فقوس آ ز ط مثل قوس د كـ وقوس آ ز أصغر من قوس د كـ وقوس د كـ أصغر / من قوس د كـ ح، فقوس آ ز ٧٤-ظ
أصغر من قوس د كـ ح كثيراً. والزوايا التي تقع في الدائرة على محيطها نسب بعضها إلى بعض كنسب قواعدها من القسي بعضها إلى بعض.

2 المقداران: والصواب «المقادير» حتى تتسق الدعوى. ولا يمكن افتراض هذا من عمل الناسخ لأن الكندي سيقتصر في المثال على مقدارين – 5 على: عى – 7 مستقيمين: مستقيمان – 12 هـ ح: ه جـ – 16 نسب: نسبة / كنسب: كنسبة.

rapport de l'angle *DEH* qui entoure la grandeur *CD* à l'angle *AEG* qui entoure la grandeur *AB* est donc égal au rapport de l'arc *DKH* à l'arc *GA*. Mais l'arc *DKH* est beaucoup plus grand que l'arc *GA*, donc l'angle *DEH* qui entoure la grandeur *DC* est beaucoup plus grand que l'angle *AEG* qui entoure la grandeur *BA*. Mais ce qui est vu sous un angle plus grand est vu plus grand. Par conséquent, *CD* qui est vue sous l'angle *CED*, le plus grand, est vue plus grande que *AB* qui est vue sous l'angle *AEB*, le plus petit. Ce qu'il fallait démontrer.

– 9 – Des grandeurs égales et parallèles, à distances inégales, <situées> sur un même plan, ne sont pas vues selon le rapport de leurs distances[24].

Exemple : Supposons les deux grandeurs égales et parallèles, les deux droites *AB* et *CD*, et l'œil le point *E* ; supposons *E* avec *DB* sur une droite d'un même plan – soit la droite *EB* ; menons les deux droites *CE* et *EA* et marquons là où *EA* coupe la droite *CD* le point *F*, étant donné que *CD* est plus proche de *E* que la droite *AB*. Traçons avec *E* comme centre et à la distance *EF* une portion de cercle qui aboutit à *G* sur la droite *CE* et à *H* sur la droite *BE*. Ainsi la grandeur *CD*, la plus proche, sera perçue par le rayon dont les extrémités sont les droites *CE* et *DE*, et la grandeur *AB*, la plus éloignée, sera vue perçue par le rayon dont les deux extrémités sont les droites *AE* et *EB*.

Je dis qu'à partir de *E* la grandeur *CD* est vue plus grande que n'est vue la grandeur *AB*, selon un rapport plus petit que le rapport de la distance de *AB*, qui est *BE*, à la distance de *CD*, qui est *DE*.

Démonstration : Le triangle *ECF* est plus grand que le secteur *EGF* et le triangle *EFD* est plus petit que le secteur *EFH*, donc le rapport du triangle *ECF* au secteur *EGF* est plus grand que le rapport du triangle *EFD* au secteur *EFH*. Si nous permutons, alors le rapport du triangle *ECF* au triangle *EFD* est plus grand que le rapport du secteur *EGD* au secteur *EFH*. Si nous composons, alors le rapport du triangle *ECD* au triangle *EFD* est plus grand que le rapport du secteur *EGH* au secteur
75r *EFH*. Mais le rapport / du secteur *EGH* au secteur *EFH* est égal au

[24] Voir note complémentaire.

فنسبة زاوية د ه ح التي تحيط بعظم جـ د إلى زاوية آ ه ز التي تحيط بعظم آ ب كنسبة قوس د ك ح إلى قوس ز آ. وقوس د ك ح أعظم كثيراً من قوس ز آ، فزاوية د ه ح المحيطة بعظم د جـ أعظم كثيراً من زاوية آ ه ز المحيطة بعظم ب آ. والذي يبصر بزاوية أعظم يرى أعظم. فإذاً جـ د الذي 5 <يرى> بزاوية جـ ه د العظمى يرى أعظم من آ ب الذي <يرى> بزاوية آ ه ب الصغرى؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– ط – الأقدار المتساوية المتوازية المختلفة الأبعاد التي على سطح واحد، <لا> ترى أقدارها على قدر نسبة أبعادها.

مثال ذلك: أن نفرض القدرين المتساويين المتوازيين خطي آ ب جـ د 10 والبصرَ علامة هَ، ولنفرض هَ مع د ب في خط سطح واحد وهو خط ه ب، ونخرج خطي جـ ه ه آ، ونتعلم حيث قاطع ه آ خط جـ د – إذ جـ د أقرب إلى هَ من خط آ ب – علامة وَ. ونخطُّ على مركز هَ وببعد ه وَ قطعة من دائرة تنتهي إلى زَ من خط جـ ه وإلى حَ من خط ب ه. فقدر جـ د الأقرب يبصر بالشعاع الذي نهايتاه خطا جـ ه د ه، وقدر آ ب الأبعد يبصر 15 بالشعاع الذي نهايتاه خطا آ ه ب.

فأقول: إن قدر جـ د يرى من هَ أعظم مما يرى قدر آ ب بنسبة أقلّ من نسبة بعد آ ب الذي هو ب ه إلى بعد جـ د الذي هو د ه.

برهان ذلك: أن مثلث ه جـ و أعظم من قطاع ه ز و ومثلث ه و د أصغرُ من قطاع ه و ح، فنسبة مثلث ه جـ و إلى قطاع ه ز و أعظم من نسبة 20 مثلث ه و د إلى قطاع ه و ح. وإن بدلنا فإن نسبة مثلث ه جـ و إلى مثلث ه و د أعظم من نسبة قطاع ه ز د إلى قطاع ه و ح. وإن ركبنا فإن نسبة مثلث ه جـ د إلى مثلث ه و د أعظم من نسبة قطاع ه ز ح إلى قطاع ه و ح. ونسبة / قطاع ه ز ح إلى قطاع ه و ح كنسبة زاوية جـ ه د إلى ٧٥-و

3-1 بعظم جـ د ... أعظم: أثبتها في الهامش مع بيان موضعها – 1 آ ه ز: ا ه – 3 المحيطة: المحيط – 4 المحيطة: المحيط – 18 ه جـ و: ه جـ د – 19 ه جـ و: ه جـ / ه ز و: ه ز د – 20 بدلنا: يدليان.

rapport de l'angle *CED* à l'angle *AEB* et le rapport du triangle *ECD* au triangle *EFD* est égal au rapport de la droite *CD* à la droite *FD*. Mais *CD* est égale à *AB*, donc le rapport du triangle *ECD* au triangle *EFD* est égal au rapport de la droite *AB* à la droite *FD*. Mais le rapport de la droite *AB* à la droite *FD* est égal au rapport de la droite *BE* à la droite *ED*, donc le rapport de *BE*, qui est la distance de la droite *AB*, à *DE*, qui est la distance de la droite *DC*, est plus grand que le rapport du secteur *EGH* au secteur *EFH*, donc le rapport de la distance *BE* à la distance *ED* est plus grand que le rapport de l'angle *AEB* à l'angle *CED*[25]. Mais *AB* est vue sous l'angle *AEB* et *CD* est vue sous l'angle *CED*, par conséquent le rapport de la distance de *AB*, qui est la droite *BE*, à la distance de *CD*, qui est la droite *DE*, est plus grand que ce qui apparaît de *AB* par rapport à <ce qui apparaît de> *CD*. Ce qu'il fallait démontrer.

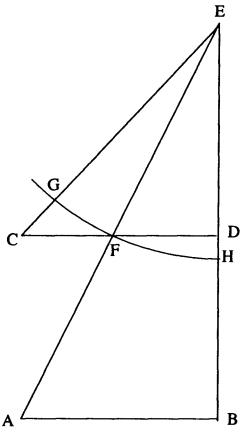


Fig. 9

– 10 – Les figures polygonales sont vues, à distance, arrondies[26].

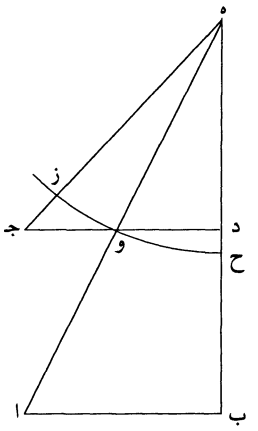
Ce n'est pas pour la raison mentionnée par Euclide qui est manifestement erronée et indémontrable ; mais si le visible est à une distance telle que les distances menées de son centre à ses angles et aux milieux de ses côtés aient des différences qui n'ont pas de grandeur dans la sensation, il sera vu arrondi.

---

[25] Le rapport a été inversé, de $\frac{BE}{DE} > \frac{\text{sect.}(EGH)}{\text{sect.}(EFH)}$ on déduit $\frac{BE}{DE} > \frac{\angle CED}{\angle AEB}$, et non $\frac{BE}{ED} > \frac{\angle AEB}{\angle CED}$.

[26] Voir note complémentaire.

زاوية ا ه ب، ونسبة مثلث ه جـ د إلى مثلث ه و د كنسبة خط جـ د إلى خط و د. وجـ د مثل ا ب، فنسبة مثلث ه جـ د إلى مثلث ه و د كنسبة خط ا ب إلى خط و د. ونسبة خط ا ب إلى خط و د كنسبة خط ب ه إلى خط ه د، فنسبة ب ه الذي هو بعد خط ا ب إلى د ه الذي هو بعد خط
5 <د جـ> أعظم من نسبة قطاع ه ز ح <إلى قطاع ه و ح>، فنسبة بعد ب ه إلى بعد ه د أعظم من نسبة زاوية ا ه ب إلى زاوية جـ ه د. وا ب يرى بزاوية ا ه ب وجـ د يرى بزاوية جـ ه د، فإذاً نسبة بعد ا ب - الذي هو خط ب ه - إلى بعد جـ د - الذي هو خط د ه - أعظم مما يرى ا ب عند جـ د؛ وذلك ما أردنا أن نبين.



10 - يَ - الأشكال ذوات الزوايا ترى من بُعْدٍ مستديرة.

ليس للعلّة التي ذكر أوقليدس فإنها واضحةً الخطأ لا برهان لها؛ ولكن إذا كان المنظور إليه من البعد لا يكون للأبعاد التي تخرج من وسطه إلى زواياه وأوساط أضلاعه من الاختلاف قدر في الحس، رئي مستديراً.

9-10 مما يرى ... جـ د: المقصود «أعظم مما يرى من ا ب عند ما يرى من جـ د»، وآثرنا تركها على حالها 10- الزوايا: الرويا.

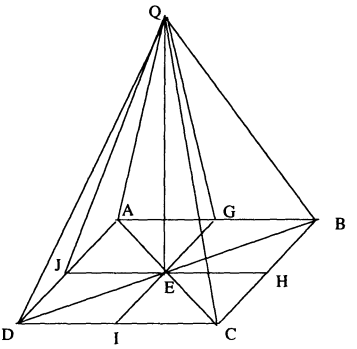


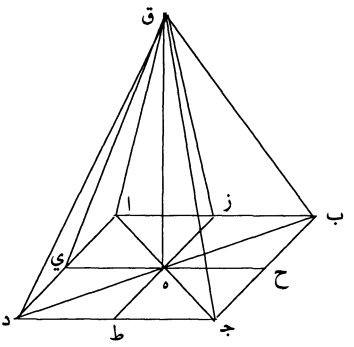
Fig. 10*

Exemple : Nous supposons la figure polygonale la figure *ABCD*. Je dis que le point auquel se coupent les droites menées à partir des angles et des milieux des côtés étant le point *E*, si de celui-ci on mène une perpendiculaire au plan *ABCD*, soit la droite *EQ*, de sorte que les excédents des droites *AE, EC, EB* et *ED* sur les droites qui partagent les côtés en deux moitiés et qui sont les droites *EG, EH, EI* et *EJ*, n'aient pas une grandeur sensible par rapport à l'œil, alors on voit le quadrilatère *ABCD* arrondi. Puisque l'angle *AEQ* du triangle *AEQ* intercepte la droite *AQ*, alors *AQ* peut les deux droites *AE* et *QE*, de même la droite *QG* peut les droites *GE* et *EQ*. Si la racine de ce qu'on obtient du produit de chacune des droites *EQ* et *EA* par elle-même n'a pas d'excédent sur la racine de ce qu'on obtient du produit de chacune des droites *EQ* et *EG* par elle-même, alors la droite *EG* sera égale, dans la sensation, à la droite *EA* car la droite *EQ* leur est commune, il reste un angle dont les deux droites sont égales dans la sensation. Mais par <les extrémités> des
75v droites égales menées / d'un point passe un cercle dont le centre est ce point et dont la distance est l'une de ces droites. Les distances de chaque extrémité des droites *AB, BC, CD, DA* au point *E* sont donc égales ; par conséquent la figure *ABCD* sera vue arrondie. Ce qu'il fallait démontrer.

– 11 – Parmi les surfaces qui sont au-dessous de l'œil dans un même plan, celles qui sont les plus éloignées de l'œil sont vues plus élevées que celles qui sont les plus proches de l'œil.

Exemple : Nous supposons l'œil le point *A* que nous supposons plus élevé que la surface *BF* ; partageons la surface *BF* en en séparant la droite

* La figure du manuscrit est incomplète.



مثال ذلك: أن نفرض الشكل ذا الزوايا شكل ا ب جـ د، فأقول: إن العلامة التي تتقاطع عليها الخطوط الخارجة من الزوايا وأنصاف الأضلاع كعلامة هَ، إذا أخرج منها عمود ‹على سطح ا ب جـ د› كخط ه ق فكان فضل خطوط ا ه ه جـ ه ب ه د على الخطوط المنصفة للأضلاع التي هي خطوط ه ز ه ح ه ط ه ي ليس لها قدر محسوس ‹عند البصر›، رئي مربع ا ب جـ د مستديراً. لأن ‹زاوية› ا ه ق من مثلث ا ه ق يوترها خط ا ق، فـ ا ق قويٌ على خطي ا ه ق ه، وكذلك خط ق ز قويٌ على خطي ز ه ه ق. فإذا لم يكن لجذر ما يكون من ضرب خطي ه ق ه ا كل واحد منهما في نفسه فضل على جذر ما يكون من ‹ضرب› خطي ه ق ه ز كل واحد ‹منهما› في نفسه، فخط ‹ه ز› مساوٍ في الحسّ لخط ه ا، لأن خط ه ق مشترك، فتبقى زاوية، خطاها متساويان في الحسّ. والخطوط المتساوية الخارجة / من نقطة تمرّ عليها دائرة مركزها تلك النقطة وبعدها أحد تلك ٧٥-ظ الخطوط، فإن أبعاد كل نهاية من خطوط ا ب ب جـ جـ د د ا من علامة هَ متساوية، فإذاً شكل ا ب جـ د يرى مستديراً؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يا – السطوح التي تحت البصر في سطح واحد فأبعدها من البصر يرى أرفع مما هو أقرب إلى البصر.

مثال ذلك: أن نفرض البصر علامة آ، ونفرضه أرفع من سطح ب و،

3 ه ق: ه و – 6 يوترها: توترها – 8 لجذر ما: لجذررما – 11 خطاها: خطان ها – 13 نهاية: علامة – 15 فأبعدها: وابعدها.

BC, puis les droites *CD*, *DE* et *EF* ; supposons ses parties les surfaces dont l'une a pour largeur *BC*, l'autre *CD*, l'autre *DE* et l'autre *EF*, la plus éloignée de l'œil qui est le point *A*.

Je dis que la surface dont la largeur est *EF* est vue du point *A* plus élevée que la surface dont la largeur est *DE*, que la surface dont la largeur est *DE* est vue plus élevée que la surface dont la largeur est *CD*, et que la surface dont la largeur est *CD* est vue plus élevée que la surface dont la largeur est *BC*.

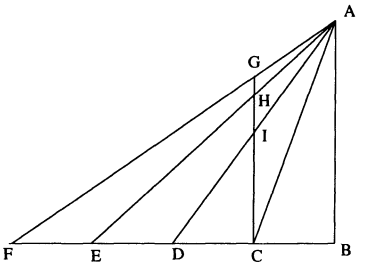
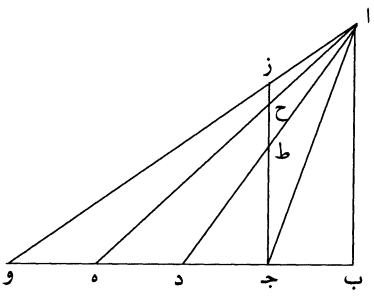


Fig. 11

Démonstration : Menons de *A* une droite jusqu'à *B* et menons les droites *AF, AE, AD* et *AC* que nous supposons des rayons. La grandeur que ceux-ci limitent est ce que les deux extrémités du rayon entourent. Mais les extrémités du rayon par lequel on voit *EF* sont les deux droites *AF* et *AE*, les extrémités du rayon par lequel on voit *DE* sont les deux droites *AE* et *AD*, les extrémités du rayon par lequel on voit *CD* sont les deux droites *AD* et *AC* et les extrémités du rayon par lequel on voit *BC* sont les deux droites *AC* et *AB*. Élevons au <point> *C* une perpendiculaire qui aboutit en *G* sur la droite *AF* et marquons là où *GC* coupe la droite *AE* le point *H* et là où la droite *GC* coupe la droite *AD* le point *I*. Le point *C* est donc vu par la droite *AC* et le point *D* est vu par la droite *AID* ; on voit à partir du point *A* le point *H* plus élevé que le point *I* selon la grandeur de la droite *IH*. Mais le point *E* est vu à partir du point *A* par la droite *AHE*, donc le point *E* est vu plus incliné dans la direction qui est celle de la hauteur selon la grandeur de la droite *IH*.

ونقسم سطح ب و بفصله خط ب جـ <ثم خطوط جـ د د ه ه و>، ونفرض أقسامه السطوح التي عرض أحدها ب جـ والآخر جـ د والآخر د ه والآخر ه و، وهو أبعدها من البصر الذي هو علامة آ.

فأقول: إن السطح الذي عرضه ه و يرى من علامة آ أرفع من السطح الذي عرضه د ه <والسطح الذي عرضه د ه يرى> أرفع من السطح الذي عرضه جـ د والسطح الذي عرضه جـ د يرى أرفع من السطح الذي عرضه ب جـ.



برهان ذلك: أن نخرج من آ إلى ب خطًا مستقيمًا، ونخرج خطوط آ و آ ه آ د آ جـ مستقيمة ونفرضها الشعاعات. فالعظم الذي تحيط به هو نهايتا الشعاع المحيط به. <ونهايتا الشعاع الذي يرى به ه و> خطا آ و آ ه، ونهايتا الشعاع الذي يرى به د ه خطا آ ه آ د، ونهايتا الشعاع الذي يرى به جـ د خطا آ د آ جـ، ونهايتا الشعاع الذي يرى به ب جـ خطا آ جـ آ ب. ونقيم على جـ عموداً ينتهي إلى ز من خط آ و، ونتعلم حيث قاطع ز جـ خط آ ه علامة ح، وحيث قاطع خط ز جـ خط آ د علامة ط. فعلامة جـ ترى بخط آ جـ، وعلامة د ترى بخط آ ط د؛ ويرى من علامة <آ علامة> ح أرفعَ من علامة ط بقدر خط ط ح. وعلامة ه ترى من علامة آ بخط آ ح ه، فعلامة ه ترى أميل إلى جهةٍ التي هي العلو بقدر خط ط ح.

2 والآخر (الأولى): وللاخر – 8 آ و: ا د – 16 آ: ح.

Mais le point *F* est vu en même temps que le point *G*, donc le rayon *AGF* est plus élevé que *H* selon la grandeur de la droite *GH* ; le point *F* est
76r donc / vu plus élevé, c'est-à-dire plus incliné dans la direction de *A* que le point *H* selon la droite *HG*, il est donc vu plus élevé que *E* selon la droite *HG* ; par conséquent *F* est vu plus incliné que *E* dans la direction qui est celle de la hauteur, *E* plus incliné que *D*, *D* plus que *C* et *C* plus que *B*, par le même procédé. Par conséquent les positions et les surfaces les plus éloignées, qui ont toutes leurs largeurs sur la droite *BF*, sont vues plus élevées, c'est-à-dire plus inclinées dans la direction de *A* que les points de la droite *BF* qui sont plus proches du côté de *A*. Ce qu'il fallait démontrer[27].

– 12 – Dès lors nous montrons également à l'aide d'une figure analogue que parmi les grandeurs qui sont sur une même droite et qui sont plus hautes que l'œil, les plus éloignées de la vue seront vues plus basses que celles qui s'en rapprochent.

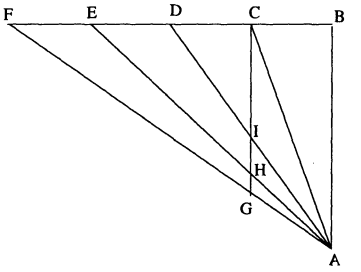


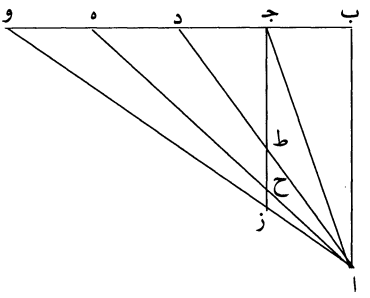
Fig. 12

Démonstration : Reprenons cette même figure et supposons *A* la position de la pupille qui est au-dessous des grandeurs qui sont *BC*, *CD*, *DE* et *EF* et qui sont sur une même droite, c'est-à-dire la droite *BF*. Donc *F* sera vu plus incliné que *E* dans la direction de *A*, *E* plus que *D*, *D* plus que *C* et *C* plus que *B* ; ainsi *F* sera vu à partir de *A* plus bas que *E*, *E* que *D*, *D* que *C* et *C* que *B*. Ce qu'il fallait démontrer.

[27] Voir note complémentaire.

وعلامة وَ ترى مع علامة زَ، فشعاع آ ز وَ أرفع من حَ بقدر خط ز ح، فعلامة وَ / ترى أرفع، أعني أميل إلى جهة آ من علامة حَ بخط ح ز، فهي ٧٦ - و
ترى أرفع من هَ بخط ح ز، فإذاً وَ ترى أميل إلى جهة التي هي العلوّ من هَ وهَ أميل من دَ ودَ من جـ وجـ من بَ بهذا التدبير. فإذاً أبعد المواضع
5 والسطوح التي عرضها جميعًا <على> خط بَ وَ ترى أعلى، أعني أميل إلى جهة آ، مما هو أقرب من جهة آ من العلامات التي في خط بَ وَ؛ <و>ذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يبَ – وهنالك نبيّن بمثل هذا الشكل سواء: أن الأعظام التي هي أعلى من البصر التي في خط واحد مستقيم، أبعدها من البصر يرى أهبط مما
10 قرب منه.



برهان ذلك: أنّا نعيد هذا الشكل بعينه، ونفرض آ موضع الناظر، وهي أسفل من الأعظام التي هي ب جـ جـ د د ه ه وَ وهي في خط واحد مستقيم، أعني خط بَ وَ. فـ وَ ترى أميل إلى جهة آ من هَ وهَ من دَ ودَ من جـ وجـ من بَ؛ فـ وَ ترى من آ أهبط من هَ وهَ من دَ ودَ من جـ وجـ من
15 بَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

2 بخط: لخط – 3 ترى (الأولى): ير – 4 التدبير: البدبين – 12 هَ وَ: و.

– 13 – Parmi les grandeurs égales éloignées, au devant de l'œil, et pour lesquelles on peut mener à partir de la pupille une droite qui sépare la distance entre les deux grandeurs et qui est parallèle aux deux droites parallèles sur lesquelles il y a les deux grandeurs, on voit celle des deux qui est vers la droite, vers la gauche, et celle qui est vers la gauche, vers la droite.

Exemple : Supposons les deux grandeurs les droites *AB* et *CD* et supposons *D* dans la direction de *B*.

Je dis que *B* sera vu vers la gauche en direction de *D* et que *D* sera vu vers la droite en direction de *B* à partir d'une certaine position. Supposons la position à partir de laquelle on regarde, le point *E* ; supposons-le sur une droite parallèle aux droites *AB* et *CD*. Supposons la pupille le point *E* et la droite menée du <point> *E* parallèlement aux deux droites *AB* et *CD,* qui sépare[28] la distance entre *AB* et *CD*, <la droite> /
76v *EF*. Je dis que *D* sera vu vers la droite en direction de *B* et que *B* sera vu vers la gauche en direction de *D*.

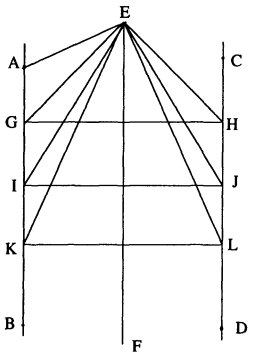


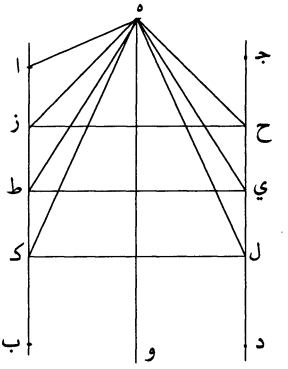
Fig. 13

Démonstration : Menons des droites parallèles qui se placent entre les deux grandeurs *AB* et *CD* selon des angles droits, soit les droites *GH*, *IJ* et *KL*. *G, I*, et *K* sont sur la droite *AB*. On voit alors *G* plus incliné que *A* dans la direction de la droite *CD*, on voit *I* plus incliné que *G* dans la direction de la droite *CD* et on voit *K* plus incliné que *I* dans la direction de la droite *CD*, et ainsi continuellement ; à mesure que la droite s'éloigne de *A*, elle sera vue plus inclinée que *FE* dans la direction de *CD*.

[28] Sous-entendu : en deux moitiés. *EF* est l'axe de la bande.

– يجـ – المقادير ‹المتساوية› المتباعدة عن البصر التي يمكن أن يخرج من الناظر خط مستقيم يفصل البعد الذي بين المقدارين ويكون موازياً للخطين المستقيمين المتوازيين اللذين عليهما المقداران، ‹فإن› المتيامن منهما يرى متياسراً والمتياسر يرى متيامناً.

مثال ذلك: أن نفرض المقدارين خطي آ ب جـ د، ونفرض دَ في جهة بَ. فأقول: إن بَ ترى متياسرة عن دَ ودَ ترى متيامنة عن بَ من موضع ما. ونفرض الموضع الذي منه النظر علامة هَ، ونفرضه على خط مستقيم موازٍ لخطي آ ب جـ د، ونفرض الناظر علامة هَ والخط الخارج من هَ الفاصل لبعد ما بين آ ب جـ د المستقيمَ الموازي لخطي آ ب جـ د / هـ و. فأقول: إن ٧٦-ظ
دَ ترى متيامنة عن بَ وبَ متياسرة عن دَ.



برهان ذلك: أن نخرج خطوطًا متوازية واقعة من قدري آ ب جـ د على زوايا قائمة، وهي خطوط زَ حـ طَ يَ كـ لَ. وزَ طَ كَ من خط آ ب. فـ زَ ترى أميل إلى خط جـ د من آ، وطَ ترى أميل إلى جهة خط جـ د من زَ، وكَ ترى أميل إلى جهة جـ د من طَ، فلا يزال كذلك؛ كلما بعد الخط من آ، رئي أميل إلى جهة جـ د من و هـ.

8 الفاصل: الفاضل – 12 طَ يَ: داي / كَ: كل، ثم صححها في الهامش.

Par le même procédé, on voit *D* plus proche que *L* de *F*. Par conséquent, *B* sera vu vers la droite en direction de *D* et *D* sera vu vers la gauche en direction de *B*. Mais quand *B* et *D* ont des rangs différents pour la distance à *E*, alors si *B* est plus loin que *D*, il est vu vers la gauche en direction de *D*, et si *D* est plus loin que *B*, il est vu vers la droite en direction de *B*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 14 – Des perpendiculaires égales <étant élevées> au-dessus du plan de l'horizon, l'œil étant plus élevé qu'elles et à l'extérieur de leur direction[29], la plus éloignée de l'œil sera vue plus longue que celle qui s'approche de l'œil.

Exemple : Supposons les perpendiculaires égales élevées au-dessus de l'horizon, les perpendiculaires *AB*, *CD* et *EF*, et l'œil au point *G* à l'extérieur de leur direction.

Je dis que *AB*, la plus éloignée de *G*, est vue plus longue que *CD*, qui est plus proche que celle-ci de *G*, et *CD* plus éloignée de *G* que *EF* est vue plus longue que *EF* qui est plus proche de *G* que *CD*.

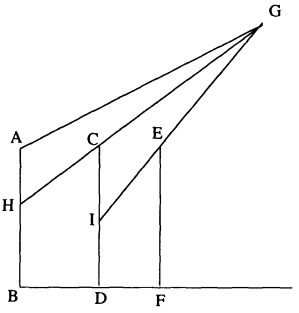


Fig. 14

Démonstration : Supposons les lignes des rayons placées aux extrémités des perpendiculaires, les droites *GA*, *GC* et *GE*. Prolongeons la droite *GC* du point *C* jusqu'au point *H* de la droite *AB*, et la droite *GE* du point *E* jusqu'au point *I* de la droite *CD*. Ainsi le point *H* est vu avec le point *C*

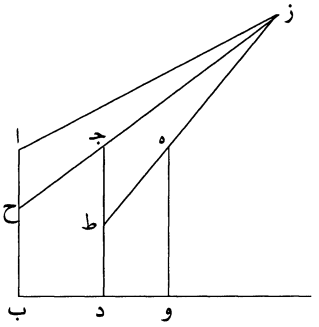
[29] C'est-à-dire à l'extérieur de la bande limitée par deux d'entre elles et contenant la troisième, les trois étant supposées coplanaires.

وبهذا التدبير ترى دَ أقرب إلى <وَ> من لَ. فإذاً بَ ترى متيامنة عن دَ ودَ ترى متياسرة عن بَ. <و>إذا كانت بَ ودَ مرتبتهما في البعد من هَ مختلفة، فإن بَ إن كانت أبعد من دَ رئيت متياسرة عن دَ، وإن كانت <دَ> أبعد من بَ رئيت متيامنة عن بَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

5 – يدَ – الأعمدة المتساوية التي على سطح الأفق، والبصرُ أعلى منها وخارجٌ عن سمتها، يُرى الأبعد منها عن البصر أطول مما هو أقرب منه <إلى> البصر.

مثال ذلك: أن نفرض الأعمدة المتساوية القائمة على الأفق أعمدة آ ب جـ د هـ و والبصرَ علامة زَ خارجًا عن سمتها.

10 فأقول: إن آ ب الأبعد من زَ يرى أطول من جـ د الأقرب من زَ منه، وجـ د الأبعد من زَ من هـ و يُرى أطول من هـ و الأقرب من زَ من جـ د.



برهان ذلك: أن نفرض خطوط الشعاعات الواقعة على أطراف الأعمدة خطوط زَ آ زَ جـ زَ هـ المستقيمة. ونخرج خط زَ جـ على استقامة من علامة جـَ إلى علامة حَ من خط آ ب و<خطّ> زَ هـ على استقامة من علامة <هـَ> 15 إلى علامة طَ من خط جـ د. فعلامة حَ ترى مع علامة جـَ بشعاع زَ جـ حَ /

1 لَ: د – 5 يدَ: أثبتها في الهامش مع بيان موضعها – 11 زَ من (الأولى): أثبتها في الهامش مع بيان موضعها – 13 زَ هـ: د هـ.

77r par le rayon *GCH* / et le point *A* est vu plus élevé que *H* de la droite *AH* ; la droite *AB* est donc vue plus longue que la droite *CD* de la droite *AH*. Le point *I* de la droite *CD* est vu avec le point *E* par le rayon *GEI* ; on voit donc *C* plus haut que *I* de la droite *CI*, on voit donc *CD* plus longue que la droite *EF*, de la droite *CI* ; on voit donc *AB*, à partir de *G*, plus longue que *CD*, et *CD* à partir de *G* est vue plus longue que *EF*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 15 – Dès lors, nous montrons que si on a des perpendiculaires à un plan parallèle à l'horizon, égales et suspendues à ce plan et plus élevées que l'œil, si l'œil est à l'extérieur de leur direction et que leurs extrémités sont du côté du plan de l'horizon, alors celle d'entre elles qui est la plus éloignée de l'œil est vue la plus longue et d'extrémité plus proche du plan de l'horizon, et celle qui lui succède est vue plus longue et d'extrémité plus proche du plan de l'horizon que celle qui est plus proche qu'elle de l'œil.

Exemple : La figure précédente. Supposons la direction du plan de l'horizon la direction *ACE* et le plan parallèle à l'horizon auquel sont suspendues les perpendiculaires égales le plan *BDF*, l'œil qui est au-dessous des extrémités des perpendiculaires qui sont dans la direction du plan de l'horizon le point *G*, et *G* est à l'extérieur de la direction des perpendiculaires *AB*, *CD* et *EF*[30].

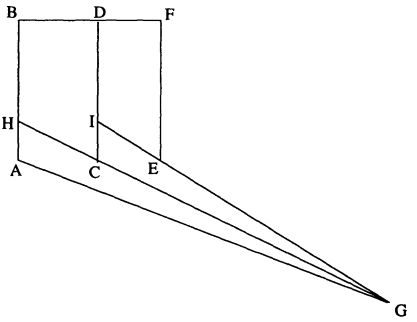


Fig. 15

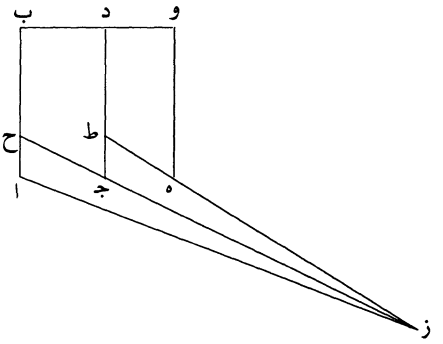
Je dis que *AB* sera vue plus longue que *CD* et plus proche que *CD* du plan de l'horizon ; *CD* sera vue plus longue que *EF* et *CD* est plus proche

[30] Voir note complémentaire.

<فعلامة آ> أرفع من ح بخط ا ح، فخط ا ب يرى أطول من خط جـ د بخط ا ح. وعلامة ط من خط جـ د ترى مع علامة ه بشعاع ز ه ط. فـ جـ ترى أرفع من ط بخط جـ ط، فـ جـ د يرى أطول من خط ه و بخط جـ ط. فـ ا ب يرى من ز أطول من جـ د، <وجـ د> يرى من ز أطول من ه و؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يه – وهنالك نبيّن أنه إن كانت أعمدة متساوية على سطح موازٍ للأفق معلّقة به، وهي أعلى من البصر، والبصر خارج عن سمتها، وأطرافها إلى جهة سطح الأفق، فإن الأبعد منها من البصر يرى أطولها وأقرب طرفًا من سطح الأفق، والذي يليه يرى أطول وأقرب طرفًا من سطح الأفق من الذي هو أقرب إلى البصر منه <وأقربها من البصر يرى أصغرها>.

مثال ذلك: الشكل الذي قدمنا. فنفرض جهة سطح الأفق جهة ا جـ ه والسطحَ الموازي للأفق المعلّق به الأعمدة المتساوية سطحَ ب د و والبصرَ الذي أسفل من أطراف الأعمدة التي في جهة سطح الأفق علامة زَ، وزَ خارجة عن سمت أعمدة ا ب جـ د ه و.



فأقول: إن <ا ب> يرى أطول من جـ د وأقرب إلى سطح الأفق من جـ د، وجـ د يرى أطول من ه و وجـ د أقرب إلى سطح الأفق من ه و، لأن

3 جـ ط (الثانية): خط – 6 موازٍ: موازي – 8 أطولها: أطول لها – 16 وجـ د (الثانية): وحـ.

du plan de l'horizon que *EF*, car *AB* est vue plus longue que *CD* de la droite *AH* et plus proche du plan de l'horizon de cette grandeur, et *CD* sera vue plus longue que *EF* de la droite *CI* et plus proche du plan de l'horizon de <la grandeur de> la droite *CI*. Le procédé est donc le même. Ce qu'il fallait démontrer.

– 16 – Pour deux perpendiculaires inégales au plan de l'horizon ou à un plan parallèle au plan de l'horizon, telles que l'œil soit plus élevé qu'elles et soit à l'extérieur de leur direction, et que des deux la plus éloignée de l'œil soit plus longue que la plus proche de l'œil, alors ce qu'on voit de la plus grande des deux, tout en voyant la plus petite, est d'une grandeur plus petite que ce qu'on voit de la plus grande, tout en voyant la plus petite si l'œil est abaissé de sa position, en restant plus élevé que la plus petite des deux grandeurs.

Exemple : Supposons les deux perpendiculaires au plan de l'horizon ou
77v à un plan parallèle à l'horizon / les deux perpendiculaires *AB* et *CD* ; supposons la plus proche d'entre elles de l'œil, la perpendiculaire *DC*, la direction de l'horizon *BD*, l'œil au point *E* plus élevé que la plus petite des deux[31] et à l'extérieur de leur direction et *AB* plus longue que *CD*.

Je dis que ce qu'on voit, à partir du point *E*, de la perpendiculaire *AB*, la plus éloignée et la plus grande, tout en voyant la perpendiculaire *CD*, est plus petit que ce qu'on voit de *AB* tout en voyant la perpendiculaire *CD* – si l'œil est abaissé du point *E* du côté de *H* tout en restant plus élevé que le point *C*.

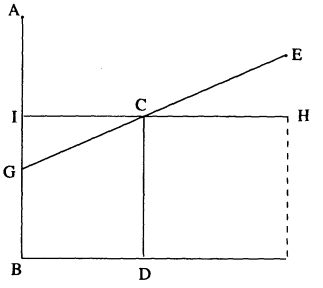


Fig. 16

Démonstration : Supposons le rayon mené de *E* jusqu'à *C*, la droite *EC*. Prolongeons *EC* au delà du point *C* au point *G* de la droite *AB*, on voit *C*

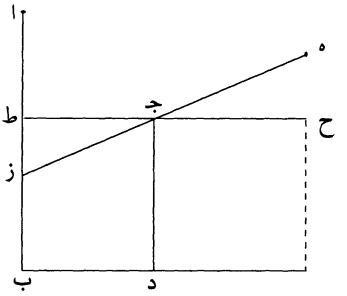
[31] Dans l'énoncé de la proposition al-Kindī place l'œil dans une position plus élevée que les deux perpendiculaires inégales, alors que dans l'exemple il le place en un point plus élevé que la plus petite des deux. Ceci est suffisant pour la proposition.

آ ب يرى أطول من جـ د بخط آ ح وأقرب إلى سطح الأفق بذلك القدر، وجـ د يرى أطول من هـ و بخط جـ ط وأقرب إلى سطح الأفق بخط جـ ط. والتدبير واحد؛ وهو ما أردنا أن نبيّن.

- يو - كل عمودين مختلفين على سطح الأفق أو على سطح موازٍ لسطح الأفق، <و>البصر أعلى منهما وخارج عن سمتهما، والأبعد منهما من البصر أطول من الأقرب منهما من البصر، كان الذي يرى من الأعظم منهما مع رؤية الأصغر أصغرَ قدراً مما يرى من الأعظم مع رؤية الأصغر إذا انخفض البصر عن موضعه وهو أعلى من أصغرهما.

مثال ذلك: أن نفرض العمودين اللذين على <سطح> الأفق أو على السطح الموازي / للأفق عمودي آ ب جـ د، ونفرض الأقرب منهما من البصر عمود د جـ وجهة الأفق ب د، والبصر عند علامة هـ أعلى من أصغرهما وخارج عن سمتهما، وآ ب أطول من جـ د. ٧٧-ظ

فأقول: إن الذي يرى من علامة هـ - مع رؤية عمود جـ د - من عمود آ ب الأبعد الأعظم أصغر مما يرى من آ ب - مع رؤية عمود جـ د - إذا انخفض البصر من علامة هـ إلى جهة ح وهو بَعد أعلى من علامة جـ.



برهان ذلك: أن نفرض الشعاع الخارج من هـ إلى جـ خط هـ جـ المستقيم، ونخرج هـ جـ على استقامة <من علامة> جـ إلى علامة ز من خط آ ب، فـ جـ

3 ما: ا.

avec *G* par le rayon *ECG*, ainsi ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB*, la plus grande, tout en voyant la perpendiculaire *CD*, la plus petite, est la droite *BG*. Si nous abaissons *E* à la position *H*, *G* s'élève à la position *I*, car *C* est un centre[32] de la droite *ICH* ; si donc *E* s'abaisse vers *H*, *G* s'élève vers *I*, si donc l'œil descend de *E* à *H*, le rayon émane de *H* vers *C* et poursuit suivant le prolongement jusqu'à *I* sur la droite *AG*. Mais la droite *IB* est plus grande que la droite *BG* de la grandeur *IG*, donc ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB*, tout en voyant *CD*, si l'œil est en *E*, ce qui est *BG*, est plus petit que ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB*, tout en voyant *CD*, si l'œil descend en *H*, puisque la droite *IB* est plus grande que la droite *GB*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 17 – Si on a deux perpendiculaires au plan de l'horizon, ou à un plan parallèle à l'horizon, l'œil étant plus bas que le sommet de la plus petite qui est la plus proche de l'œil, et l'œil étant à l'extérieur de leur direction, alors ce qu'on voit de la plus grande, tout en voyant la plus petite, qui est plus proche de l'œil que la plus grande – laquelle est plus éloignée de l'œil –, est plus grand que ce qu'on voit de la plus grande, laquelle est la plus éloignée de l'œil, tout en voyant la plus petite, laquelle est plus proche de l'œil, si l'œil s'élève à partir de sa position, mais sans dépasser la plus petite.

78r *Exemple* : / Supposons la plus grande des deux, la droite *AB*, et la plus petite des deux <la droite> *CD* ; *B* et *D* sont du côté du plan de l'horizon ou d'un plan parallèle au plan de l'horizon et la position de l'œil est le point *H* plus bas que *C* qui est l'extrémité dans l'air de la plus petite ; *CD* est plus proche de *H* que *AB* et *H* est extérieur aux directions de *CD* et *AB*.

Je dis que ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB*, la plus grande, tout en voyant la perpendiculaire *CD*, la plus petite et la plus proche de *H*, est plus grand que ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB* avec la perpendiculaire *CD* si le point *H* s'élève de sa position dans la direction de *E*.

Démonstration : Supposons que le rayon mené de *H* jusqu'à *C* suivant une droite aboutisse au <point> *I* de la droite *AB*, alors *IB* sera vue avec *CD*. Si *H* s'élève dans la direction de *E*, *I* s'abaisse dans la direction de *G* ; si donc *H* parvient à *E* et si *E* n'est pas plus élevé que *C*, *I* s'abaisse en *G*

[32] C'est-à-dire le point autour duquel tourne la droite.

ترى مع زَ بشعاع هَ جـ زَ، فالذي يرى مع رؤية عمود جـ دَ الأصغر من عمود اَ بَ الأعظم هو خط بَ زَ. وإن خفضنا هَ إلى موضع حَ، علتْ زَ إلى موضع طَ، لأن جـ يكون مركزاً لخط طَ جـ حَ، فإذا هبطتْ هَ نحو حَ علتْ زَ نحو طَ، فإذا صار البصر هابطًا من هَ إلى حَ خرج الشعاع من حَ إلى جـ ومضى على استقامة إلى طَ من خط اَ زَ. وخط طَ بَ أعظم من بَ زَ بقدر طَ زَ، فالذي <يرى> مع رؤية جـ دَ من عمود اَ بَ، إذا كان البصر على هَ، الذي هو بَ زَ، أصغر مما يرى من عمود اَ بَ، مع رؤية جـ دَ، إذا هبط البصر إلى حَ، لأن خط طَ بَ أعظم من خط زَ بَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يزَ – إذا كان عمودان على سطح الأفق أو سطح موازٍ للأفق والبصرُ أهبط من أعلى أصغرهما – <الذي هو> أقرب إلى البصر – <والبصر> خارجٌ عن سمتهما، فإن الذي يرى <من أعظمهما> مع رؤية أصغرهما – الذي هو أقرب إلى البصر من أعظمهما الذي هو أبعد من البصر – أكبر مما يرى من أعظمهما الذي هو أبعد من البصر مع رؤية أصغرهما الذي هو أقرب إلى البصر، إذا ارتفع البصر عن موضعه ولم يعلو فوق أقصرهما.

مثال ذلك: / أن نفرض الأعظمَ منهما خط اَ بَ المستقيم والأقصرَ منهما جـ دَ، وبَ دَ جهة سطح الأفق أو سطح موازٍ لسطح الأفق وموضعَ البصر علامة حَ أهبط من جـ التي هي نهاية أصغرهما في الجوّ، وجـ دَ أقرب إلى حَ من اَ بَ؛ وحَ خارجة عن سمتي جـ دَ اَ بَ. ٧٨–و

فأقول: إن الذي يرى من عمود اَ بَ الأعظم، مع رؤية عمود جـ دَ الأصغرَ الأقربَ من حَ، أعظمُ مما يرى من عمود اَ بَ مع عمود جـ دَ، إذا ارتفعت علامة حَ عن موضعها إلى جهة هَ.

برهان ذلك: أنا نفرض الشعاع الخارج من حَ إلى جـ على استقامة ينتهي إلى طَ من خط اَ بَ، فـ طَ بَ يرى مع جـ دَ. فإذا ارتفعت حَ إلى جهة هَ، انحطت طَ إلى جهة زَ؛ فإذا صارت حَ إلى هَ، وهَ ليست بأرفع من

2 خفضنا: صححها في الهامش – 5 طَ بَ: طلب / بَ زَ: بو – 6 طَ زَ: طو – 8 طَ بَ: طر ب – 9 للأفق: الافق – 18 خارجة: خارج / سمتي: سمت – 24 ليست: ليس.

et *G* n'est pas plus élevé[33] que *C*, car *C* est comme un centre pour les deux points *E* et *G*. Si donc *H* s'élève quelque peu, *I* s'abaisse ; si *H* parvient à *E*, *I* sera en *G* et alors *GB* sera plus petit que *IB* de <la grandeur> *IG*. Par conséquent, quand l'œil s'élève au-dessus de *H*, il voit de *AB* – tout en voyant *CD* qui est égale à *GB* – moins que ce qu'il voit de la droite *AB* à partir de *H*, tout en voyant *CD*. Ce qu'il fallait démontrer[34].

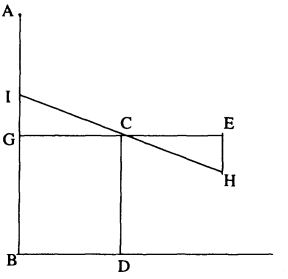


Fig. 17

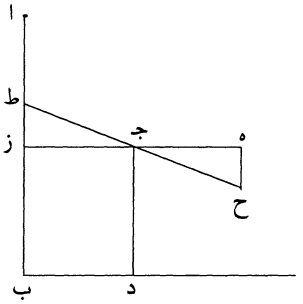
– 18 – Soit deux perpendiculaires au plan de l'horizon ou à un plan parallèle au plan de l'horizon, la plus proche de l'œil étant la plus petite et la hauteur de l'œil par rapport à l'horizon étant égale à la hauteur de la plus petite, et l'œil étant à l'extérieur de leur direction ; ce qu'on voit de la plus grande, tout en voyant la plus petite – que l'œil s'approche ou s'éloigne d'elles, sans que sa hauteur varie par rapport au plan de l'horizon –, est toujours d'une même grandeur.

Exemple : Supposons les deux perpendiculaires au plan de l'horizon ou à un plan parallèle à l'horizon, les deux perpendiculaires *AB* et *CD* ; supposons la plus petite, qui est *CD*, plus proche de l'œil, l'œil étant à l'extérieur de leur direction et sa hauteur par rapport au plan sur lequel est <élevée> la perpendiculaire étant égale à *CD* la plus petite.

Je dis que ce qu'on voit de la perpendiculaire *AB* la plus grande, tout
78v en voyant *CD* la plus petite, à partir de *G*, / est égal en hauteur à *CD* – que *G* s'approche de *C* ou s'en éloigne comme le point *F*, à condition que sa hauteur soit égale à la hauteur de *CD* – est toujours la même <grandeur>.

[33] Si *H* vient en *E*, *C* et *G* ont la même hauteur au-dessus de *BD*.
[34] Voir note complémentaire.

جـ، انحطت طـ إلى زَ، فـ زَ ليست بأرفع من جـ، لأن جـ تكون كالمركز لنقطتي هَ زَ. فإذا ارتفعت حـ شيئًا هبطت طـ؛ فإذا صارت حـ عند هَ وصارت طـ عند زَ، صار زَ بـ أصغر من طـ بَ بـ طـ زَ. فإذاً إذا ارتفع البصر عن حـ، رأى من اَ بَ - مع رؤية جـ دَ الذي هو زَ بَ - أقلَّ مما يرى من حـ ‹من› خط اَ بَ مع رؤية جـ دَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.



- يحـ - كل عمودين، أقربهما من البصر أصغرهما، على سطح الأفق أو سطح موازٍ لسطح الأفق، وعلوّ البصر عن الأفق مساوٍ لعلو أصغرهما، والبصر خارج عن سمتهما؛ فإن الذي ‹يُرى› من أعظمهما مع رؤية أصغرهما - قَرُبَ البصر منهما أو بعد ولم يختلف علوّه عن سطح الأفق - قدرٌ واحدٌ أبداً.

مثال ذلك: أن نفرض العمودين القائمين على سطح الأفق أو السطح الموازي للأفق عموديْ اَ بَ جـ دَ، ونفرض أقصرهما الذي هو جـ دَ أقربَ إلى البصر؛ والبصر خارج عن سمتهما، وعلوّه عن السطح الذي عليه العمود أن يكون جـ دَ الأقصر.

فأقول: إن الذي يُرى من عمود اَ بَ الأعظم، مع رؤية جـ دَ الأصغر، من زَ / مساوٍ في العلّو لـ جـ دَ - قَرُبت زَ من جـ أو بَعُدَت كعلامة وَ، إلا أن علوّها مساوٍ لعلوّ جـ دَ - واحدٌ أبداً. ٧٨-ظ

1 ليست: ليس - 2 ارتفعت: اتفعت / حـ (الأولى): ه - 3 صار زَ بَ: ضار ز ت - 14 يكون: يطول - 16 مساوٍ: المساوي - 16-17 إلا أن: الان.

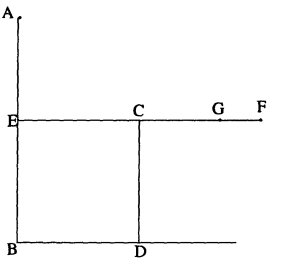


Fig. 18

Démonstration : Menons le rayon *FGCE* suivant une droite. Si *G* et *F* ont la même hauteur que *CD*, alors la droite *EF* est parallèle à l'horizon, donc l'angle *DCE* est droit et l'angle *BEC* est droit, la droite *EB* est donc égale à la droite *CD*. Mais ce qu'on voit de la droite *AB* à partir du point *G* est la droite *EB* qui est égale à la droite *CD*, de même ce qu'on voit de la droite *AB* si l'œil est au <point> *F* est la droite *EB* qui est égale à *CD*.

Que l'œil s'éloigne de *C* suivant la droite *CF* ou qu'il s'en approche, il voit *BE* de la droite *AB*, tout en voyant *CD*. Ce qu'on voit de la droite *AB*, tout en voyant *CD*, est toujours une même grandeur qui est la droite *BE*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 19 – Si nous voulons connaître la grandeur de la hauteur d'un corps, on peut percevoir cela à l'aide du soleil.

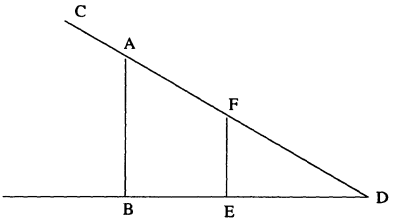
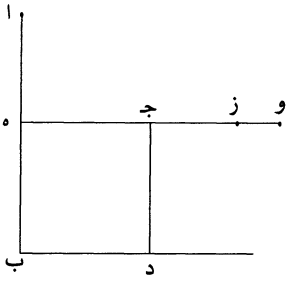


Fig. 19

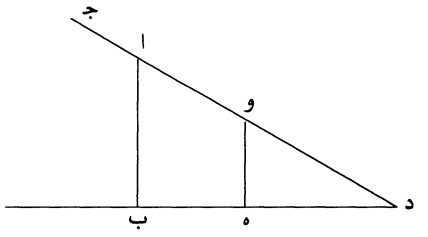
Exemple : Supposons le soleil le point *C* et la perpendiculaire dont nous voulons connaître la hauteur, la perpendiculaire *AB*. Le rayon du soleil émane de *C* vers *A* suivant une droite jusqu'à *D*, *BD* est donc une droite dans le plan de l'horizon ou dans un plan parallèle à l'horizon, et *B*



برهان ذلك: أن نخرج شعاع و ز جـ ه على استقامة. فـ زَ ووَ إذا كانتا في علوّ جـ د، فخط ه وَ موازٍ للأفق، فزاوية د جـ ه قائمة وزاوية ب ه جـ قائمة، فخط ه ب مساوٍ لخط جـ د، والذي يُرى من خط ا ب من علامة زَ هو خط ه ب المساوي لخط جـ د، وأيضًا الذي يُرى من خط ا ب، إذا كان البصر على وَ هو خط ه ب المساوي لـ جـ د.

فتباعد البصر من جَ على خط جـ وَ أو قرب منها، إنما يرى ب ه من خط ا ب، مع رؤية جـ د. فالذي يُرى من خط ا ب، مع رؤية جـ د، قدر واحدٌ أبداً، وهو خط ب ه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يطـ – إذا أردنا أن نعلم كمية ارتفاع جسم، فقد يمكن أن يدرك ذلك بالشمس.



مثال ذلك: أن نفرض الشمس علامة جَـ والعمودَ الذي نريد معرفة ارتفاعه عمود ا ب. وشعاع الشمس يخرج من جَـ إلى آ على استقامة إلى دَ، فـ ب د خط في سطح الأفق أو سطح <موازٍ> للأفق وبَ قاعدة عمود

13 سطح (الثانية): السطح / للأفق: الافق / وبَ: وب د.

est le pied de la perpendiculaire *AB* sur ce plan. L'ombre de *AB* sur la terre, c'est-à-dire sur le plan de la terre parallèle à l'horizon, est la droite *BD*. Nous dressons ensuite une autre perpendiculaire connue plus petite que *AB*, de la grandeur que nous voulons – soit la perpendiculaire *FE* – sur l'ombre *BD*. Ainsi on a engendré par la perpendiculaire dont on cherche la hauteur, qui est *AB*, par l'ombre *BD* et l'hypoténuse de l'ombre *AD*, un triangle, et par la perpendiculaire que nous avons dressée, qui est *EF*, par son ombre qui est *ED* et l'hypoténuse de son ombre qui est *FD*, un triangle ; les deux triangles sont semblables, donc le rapport de *DE*, connue, à *EF*, connue – car nous les avons supposées ainsi –, est égal au rapport de *BD*, connue, à *BA*, inconnue. Par conséquent *AB* est connue. Ce qu'il fallait démontrer. /

79r – 20 – Nous voulons montrer comment trouver la hauteur d'un corps sans l'aide du soleil.

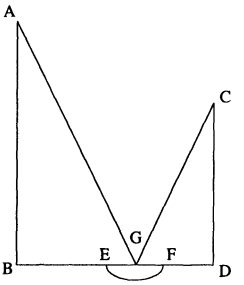


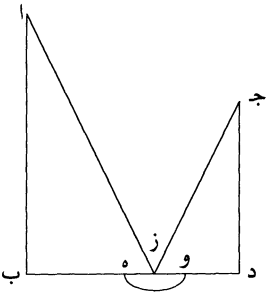
Fig. 20

Nous supposons le corps la droite *AB* perpendiculaire au plan de l'horizon ou à un plan parallèle à l'horizon et nous plaçons une perpendiculaire connue à une droite de ce plan parallèlement à la droite *AB*, de la grandeur que nous voulons – soit la perpendiculaire *CD*. Plaçons le centre d'un miroir sur la droite menée de *B* à *D*, comme l'arc *EF*[35] dont le centre est *G*. Nous plaçons la pupille au <point> *C*. Nous procédons par tâtonnements en avançant le miroir vers *B* ou en le reculant par rapport à *B* jusqu'à ce que le rayon *CG* se réfléchisse au point *A* ; les angles *B* et *D* des deux triangles *CDG* et *ABG* sont droits, étant donné que *AB* et *CD* sont perpendiculaires à la droite *BD*, et l'angle *AGB* est égal à l'angle *CGD* car le rayon se réfléchit sur les miroirs

[35] Il s'agit d'un miroir plan.

آ ب على ذلك السطح. فظلّ آ ب على الأرض، أعني على السطح الموازي للأفق من الأرض، خط ب د. ثم ننصب عموداً آخر معلومًا أقصر من آ ب على أيّ قدر شئنا، وهو عمود و ه على ظلّ ب د. فقد حدث بالعمود المطلوب ارتفاعه، الذي هو آ ب، وظلّ ب د وقطر ظلّ آ د، مثلثٌ، وبالعمود الذي نصبنا، وهو ه و، وظله الذي هو ه د، وقطر ظلّه الذي هو و د، مثلثٌ، والمثلثان متشابهان، فنسبة د ه المعلوم إلى ه و المعلوم - لأنّا كذلك نفرضهما - كنسبة ب د المعلوم إلى ب آ المجهول. فإذاً آ ب معلوم؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن./

<كـ> نريد أن نبيّن كيف نجد ارتفاع جسم من غير شمس. ٧٩-و



فنفرض الجسم خط آ ب قائمًا على سطح الأفق أو سطح موازٍ للأفق ونضع عموداً معلومًا موازيًا لخط آ ب بأيّ قدر شئنا على خط ذلك السطح، وهو عمود جـ د. ونضع مركز مرآة على الخط الخارج من ب إلى د كقوس ه و ومركزها ز. ونضع الناظر على جـ. ونقدر المرآة تقديراً في تقديمها إلى ب أو تأخيرها عنها <حتى> يقع به شعاع جـ ز منعكسًا إلى علامة آ؛ فمثلثا جـ د ز آ ب ز زاويتا ب ود منهما قائمتان، إذ آ ب جـ د عمودان على خط ب د، وزاوية آ ز ب مساوية لزاوية جـ ز د لأن الشعاع

2 خط: لخط - 6 و د: د / متشابهان: متشابها - 7 نفرضهما: نفرضها - 9 من هنا إلى ورقة ٨٨-ظ كتبت المخطوطة بخط آخر - 17 لأن: قد تقرأ «ه ن».

suivant des angles égaux, comme nous l'avons montré dans nos traités mathématiques[36]. Il reste l'angle *GAB* égal à l'angle *GCD*, donc le rapport de *CD*, connue, à *DG*, connue est égal au rapport de *AB*, inconnue, à *BG*, connue. Par conséquent *AB* est connue. Ce qu'il fallait démontrer.

– 21 – Si nous voulons trouver la profondeur d'un puits ou d'une vallée ou une profondeur quelconque, nous dressons sur la surface qui se trouve avec le bord de la profondeur dans un même plan une perpendiculaire – et nous plaçons la pupille sur l'extrémité de la perpendiculaire – <qui dépend de> la grandeur de la partie du rayon qui dépasse le bord de la profondeur du côté de la perpendiculaire et de l'extrémité de la droite, en profondeur, opposée à cette droite sur l'extrémité de laquelle tombe le rayon à partir du fond de la profondeur[37].

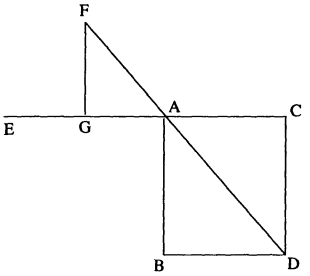


Fig. 21

Exemple : Que la profondeur soit celle entourée par les deux perpendiculaires *AB* et *AC*, *AC* est pour le diamètre de son bord, et que l'extrémité de sa concavité soit la droite *BD*[38]. Prolongeons *AC* du point *A* au point *E* et dressons sur la droite *AE* la perpendiculaire *FG*, *G* étant sur la droite *AE*. Nous regardons à partir de *F*, nous avançons la perpendiculaire jusqu'à *E* et nous la reculons par rapport à *E* jusqu'à ce que le rayon visuel tombe de *F* en *A* et passe sur le prolongement jusqu'en *D*. Les deux triangles *FGA* et *ACD* sont semblables car l'angle
79v *FAG* est égal / à l'angle *CAD* puisque les deux droites *FD* et *CG* se coupent ; les deux angles *ACD* et *AGF* sont droits car *FG* et *CD* sont deux perpendiculaires à la droite *GC*, il reste l'angle *AFG* égal à l'angle *ADC* ; les deux triangles *AFG* et *ACD* sont semblables, donc le rapport de *FG*, connue, à *GA*, connue, est égal au rapport de *CD*, inconnue, à *CA*, connue, donc *CD* est connue. Ce qu'il fallait démontrer.

---

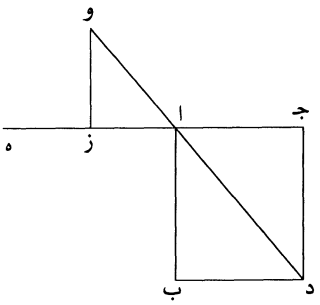
[36] Voir notamment *De aspectibus*.

[37] Il veut dire que la longueur de *GF* dépend de celles des deux parties du rayon, c'est-à-dire *AF* qui est la première nommée et *AD* qui part du fond *D* et de celle de *AB* qui est la profondeur cherchée.

[38] Le diamètre de l'ouverture est *AC*, et on suppose *AC* = *BD*.

ينعكس عن المرايا على زوايا متساوية، كما قد بيّنا في أقاويلنا الرياضية. فتبقى زاوية ز آ ب مساوية مثل زاوية ز جـ د، فنسبة جـ د المعلوم إلى د ز المعلوم كنسبة آ ب المجهول إلى ب ز المعلوم. فإذاً آ ب معلوم؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

5 – كا – إذا أردنا أن نجد عمق بئر أو وادٍ أو غير ذلك من العمق، فأننا ننصب على السطح الذي فم العمق معه على سطح واحد عموداً، ونضع الناظر على طرف العمود بقدر ما يخرج الشعاع من حرف العمق مما يلي العمود ونهاية الخط – من العمق – المقابل لذلك الخط الذي وقع الشعاع على طرفه من قعر العمق.



10 مثال ذلك: أن يكون العمق الذي يحيط به عمودا آ ب ‹آ جـ وآ جـ› لقطر فمّه، الذي هو نهاية قعره خط ب د. ونخرج آ جـ على استقامة من علامة آ إلى علامة ه وننصب على خط آ ه عمود و ز، ‹ز› من خط آ ه، وننظر من و ونقدّم العمود إلى ه ونؤخره عنها حتى يقع شعاع البصر من و إلى آ ويمرّ على استقامة إلى د. فمثلثا و ز آ آ جـ د متشابهان لأن زاوية
15 و آ ز مساوية / زاوية جـ آ د، لأن خطي و د جـ ز متقاطعان؛ وزاويتا ٧٩ – ظ آ جـ د آ ز و قائمتان لأن و ز وجـ د عمودان على خط ز جـ، فتبقى زاوية آ و ز مساوية زاوية آ د جـ؛ فمثلثا آ و ز آ جـ د متشابهان، فنسبة و ز المعلوم إلى ز آ المعلوم كنسبة جـ د المجهول إلى جـ آ المعلوم، فـ جـ د معلوم؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

2 الرياضية: الرماضية، ثم صححها فوقها – 5 وادٍ: وادي، ولن نشير إليها فيما بعد – 6 ننصب: ينصب / سطح: السطح – 11 على: لعلى – 12 آ ه (الثانية): ه – 13 ونقدم: أثبت الواو فوق السطر – 14 لأن: ه ن – 15 جـ ز: جـ د – 16 آ و ز (الأولى والثانية): ا د ز.

– 22 – Nous voulons déterminer la largeur d'une vallée sans aller jusqu'à l'autre rive. Nous supposons la largeur de la vallée la droite *AB* et nous repérons sur la rive à laquelle on ne peut pas parvenir, un sommet quelconque d'une roche ou d'un arbre. Nous dressons ensuite une perpendiculaire sur la rive sur laquelle nous sommes, de sorte que la droite menée de la perpendiculaire à l'arbre ou à la roche coupe la rive de la vallée suivant des angles droits, ou coupe une droite que nous supposons sur la rive de la vallée à partir de la perpendiculaire que nous avons dressée, suivant des angles droits. Nous supposons cette droite la droite *BC* et menons à partir de cette droite une perpendiculaire, dans le plan de la droite *AC* et de la droite *AB*, connue à volonté, soit la droite *DE*, *D* étant sur la droite *BC*. On avance et on recule la perpendiculaire par rapport à ce point jusqu'à ce que le rayon visuel émane de *C* suivant *EA*. Les deux triangles *CDE* et *CAB* sont semblables, donc le rapport de *CD*, connue, à *DE*, connue, est égal au rapport de *CB*, connue, à *AB*, inconnue ; *AB* est donc connue. Ce qu'il fallait démontrer[39].

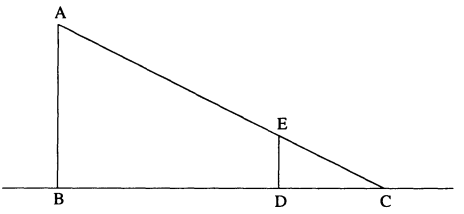


Fig. 22

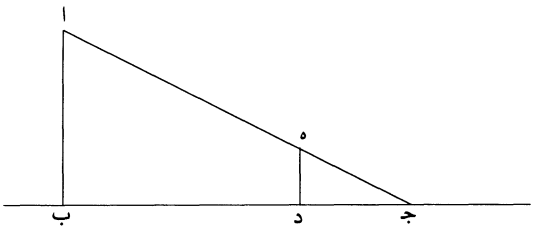
– 23 – Si une portion de cercle se trouve sous l'œil dans un plan et que l'on mène à celle-ci du centre de la pupille une perpendiculaire qui sépare l'arc et sa corde, chacun en deux moitiés, alors la portion de cercle paraît être une droite.

Exemple : On suppose que la portion de cercle est l'arc *ACB* dont la corde est *AB* et on suppose *D* la position de la pupille ; on suppose la perpendiculaire menée du centre de la pupille qui sépare l'arc *ACB* en deux moitiés et la corde *AB* en deux moitiés dans le plan de la portion
80r *ABC* la droite / *DCI*, *C* ayant séparé l'arc *ACB* en deux moitiés et *I* ayant séparé la droite *AB* en deux moitiés.

Je dis que celui qui regarde de *D* l'arc *ACB*, le voit une droite, comme la droite *AB*.

[39] Voir note complémentaire.

– كب – نريد أن نحدّ عرض وادٍ لا يوصل إلى شطّه الآخر. فنفرض عرض الوادي خط ا ب، ونتعلم على شطّه الذي لا يوصل إليه على قمة ما من مدرة أو شجرة. ثم ننصب عموداً على الشطّ الذي نحن فيه، يكون الخط الخارج من العمود إلى الشجرة أو المدرة يقاطع شطّ الوادي على زوايا قائمة أو خطًا نفرضه على شطّ الوادي مستقيماً من العمود الذي نصبنا على زوايا قائمة. فنفرض ذلك الخط خط ب جـ، ونخرج من ذلك الخط عموداً، في سطح خط ا جـ وخط ا ب، معلومًا كيف شئنا، وهو خط د ه ودَ من خط ب جـ. ويقدم العمود أو يؤخره عنها حتى يخرج شعاع البصر من جـ على ه ا. فمثلثا جـ د ه جـ ا ب متشابهان، فنسبة جـ د المعلوم إلى د ه المعلوم كنسبة جـ ب المعلوم إلى ا ب المجهول؛ فـ ا ب معلوم؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.



– كجـ – إذا وقع تحت الناظر قطعةٌ من دائرة في سطح يخرج من مركز الناظر إليها عمودٌ يفصل القوسَ ووترها بنصفين نصفين، فإن قطعة الدائرة ترى خطًا مستقيماً.

مثال ذلك: أن نفرض قطعة الدائرة قوس ا جـ ب ووترها ا ب ونفرض دَ موضع الناظر، ونفرض العمود الخارج من مركز الناظر الفاصل لقوس ا جـ ب بنصفين ولوتر ا ب بنصفين في سطح قطعة ا ب جـ خطّ / د جـ ط، ٨٠-و وجـ قد فصلت قوس ا جـ ب بنصفين وطـ قد فصلت خط ا ب بنصفين.

فأقول: إن الناظر من دَ إلى قوس ا جـ ب يراها خطًا مستقيمًا كخط ا ب.

2 قمة: مة – 9-11 جـ د ه ... أردنا أن: أثبتها في الهامش مع بيان موضعها – 15 قوس: قويين – 20 ا ب: قد تقرأ «اطب».

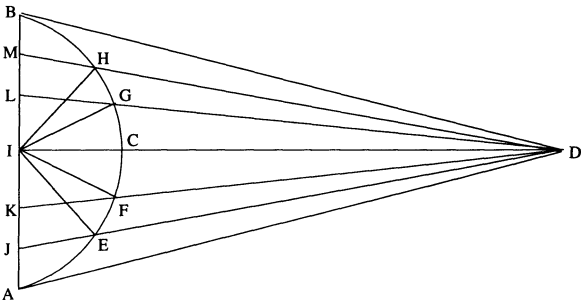
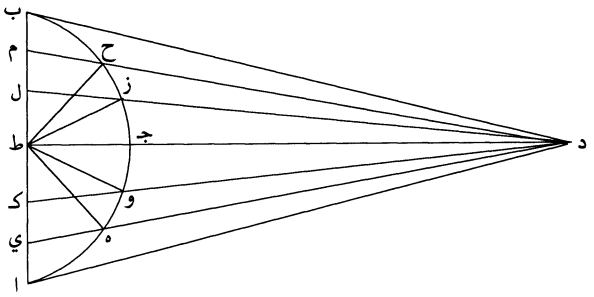


Fig. 23

Démonstration : Partageons l'arc *AC* aux deux points *E* et *F* et l'arc *CB* aux deux points *G* et *H,* prolongeons les droites *IE, IF, IG, IH,* menons du point *D*, qui est l'œil, les deux droites *DA* et *DB* qui sont les deux extrémités des rayons qui entourent l'arc, et prolongeons la droite *DE* jusqu'à *J* sur la droite *AI*, *DF* jusqu'à *K* sur la droite *JI*, et *DG* jusqu'à *L* sur la droite *IB* et *DH* jusqu'à *M* sur la droite *LB*. L'angle *ADI* est donc plus grand que l'angle *JDI* et l'angle *JDI* est plus grand que l'angle *KDI*. Mais la droite *AI* est vue sous l'angle *ADI* et la droite *JI* est vue sous l'angle *JDI,* et on voit en même temps qu'elle sous le même angle la droite *IE*. La droite *KI* est vue sous l'angle *KDI* et on voit en même temps qu'elle sous le même angle la droite *FI*. Par conséquent, la droite *AI* est vue égale à l'arc *AC*, car l'arc *AC* et la droite *AI* sont vues ensemble sous l'angle *ADI*, mais ceux qui sont vus sous le même angle sont vus égaux car de leurs extrémités, les unes n'excèdent pas les autres.

De même, la droite *JI* et l'arc *EC* sont vus tous deux égaux, car tous les deux sont vus sous l'angle *JDI*. La droite *KI* et l'arc *FC* sont vus tous les deux sous l'angle *KDI*, ils sont donc également vus égaux. On a donc montré que l'arc *AC* est vu égal à la droite *AI* et se superpose à elle car ils sont avec la pupille dans un même plan. Par conséquent, l'arc *AC* est vu comme une droite, étant donné que ses extrémités sont vues en même temps que les extrémités de <la droite> *AI*, et l'arc se superpose à la droite dans un même plan que la pupille, et aucune partie de l'arc n'est vue extérieure à la droite *AI*. Par ce procédé on montre que l'arc *CB* sera vu une droite qui est *BI* elle-même ; par conséquent l'arc *ACB* tout entier sera vu une droite à partir de *D*, soit la droite *AIB* elle-même. Ce qu'il fallait démontrer.



برهان ذلك: أنا نقسم ‹قوس› ا جـ بنقطتي هَ وَ و‹قوس›جـ ب بنقطتي زَ حَ، ونخرج خطوط ط ه ط و ط ز ط ح على استقامة، ونخرج ‹من علامة دَ التي هي البصر خطي د ا د ب مستقيمين، وهما نهايتا الشعاع المحيط بالقوس ونخرج› خط د ه ‹على استقامة› إلى يَ من خط ا ط ود و على استقامة إلى كَ من خط يَ ط، ود ز على استقامة إلى لَ من خط ط ب، ود ح على استقامة إلى مَ من خط ل ب. فزاوية ا د ط أعظم من زاوية يَ د ط، وزاوية يَ د ط أعظم من زاوية كَ د ط. وخط ا ط يرى بزاوية ا د ط وخط يَ ط يرى بزاوية يَ د ط ويرى معه بها خط ط ه. وخط كَ ط يرى بزاوية كَ د ط ويرى معه بها خط وَ ط. فإذاً خط ا ط يرى مساويًا لقوس ا جـ لأن قوس ا جـ وخط ا ط يريان معًا بزاوية ا د ط؛ والتي ترى بزاوية واحدة ترى متساوية، لأن نهاياتها لا يزيد بعضها على بعض.

كذلك خط يَ ط وقوس هَ جـ يريان جميعًا متساويين لأنهما يريان جميعًا بزاوية يَ د ط. وخط كَ ط وقوس وَ جـ يريان جميعًا بزاوية كَ د ط، فهما يريان أيضًا متساويين. ‹فقد› تبيّن أن قوس ا جـ ترى مساوية لخط ا ط وراكبة له، إذ هما والناظر في سطح واحد. فإذاً ‹قوس› ا جـ ترى خطًا مستقيمًا، إذ كانت ترى نهاياتها مع نهايات ا ط المستقيم، وراكبة له في سطح واحد مع الناظر، ليس منها جزء خارجًا عن خط ا ط. وبهذا التدبير يبيّن أن قوس جـ ب ترى خطًا مستقيمًا هو ب ط بعينه؛ فإذاً قوس ا جـ ب ‹كلها› ترى خطًا مستقيمًا من دَ، وهو خط ا ط ب نفسه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

2 زَ حَ: ر خ – 7 زاوية (الثالثة): روية – 9 فإذاً: فاذا – 15 متساويين: متساويان – 16 فإذاً: فاذا – 18 منها: منهما / خارجًا: وخارجا – 21 نبين: بين.

De même, cela se produit à l'intérieur d'une portion de cercle si les conditions sont selon ce que nous avons introduit[40].

80v – 24 – Ce que l'on voit de toute sphère / lorsqu'on la regarde est plus petit que sa moitié, et la surface qu'on en voit est entourée par un cercle.

Exemple : Nous supposons la sphère *ACB* et son diamètre la droite *AB* et nous élevons en *B* la perpendiculaire *BD* et en *A* la perpendiculaire *AE*[41].

Je dis que ce qu'on voit de la sphère *ACB* est plus petit que sa moitié et que la surface qu'on en voit est entourée par un cercle.

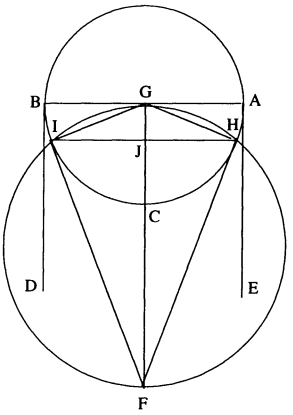


Fig. 24

Démonstration : Les deux angles *BAE* et *ABD* sont droits, donc les droites *AE* et *BD* sont parallèles et ne se rencontrent pas, même si on les prolonge indéfiniment, et elles sont tangentes à la sphère *ACB*. Supposons la pupille au point *F* ; menons de celui-ci une perpendiculaire jusqu'à *G* de la droite *AB* que nous supposons le centre de la sphère *ACB* ; il n'est pas possible de mener de *F* une droite jusqu'à *A*, ni de *F* une droite jusqu'à *B* sans qu'elles coupent les deux arcs *AC* et *BC*, car il n'est pas possible de mener entre la droite *AE* tangente au cercle *ACB*, et l'arc *AC* une droite jusqu'à *F* sans qu'elle coupe l'arc *AC*. De même il n'est pas possible de mener de *F* jusqu'à *B* une droite au delà de la tangente au cercle *BCA* sans qu'elle coupe l'arc *BC*. Mais le rayon mené jusqu'à la sphère à partir de l'œil a ses extrémités tangentes à la sphère. Soit une droite menée de *F* tangente à l'arc *AC*, supposons-la la droite *FH*, et supposons *H* sur l'arc *AC* ; et soit une autre droite menée de *F* tangente à

[40] Voir note complémentaire.

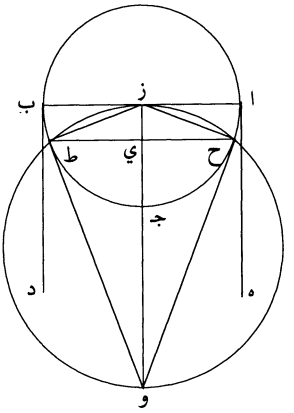
[41] Sous-entendu dans le plan défini par *AB* et la position *F* de la pupille.

<وكذلك يعرض في باطن قطعة الدائرة إذ كانت الشرائط على ما قدمنا.>

- كد - كلّ كرة فإن الذي يرى / منها من حيث نظر إليها أقلّ من نصفها والسطح الذي يرى منها تحيط به دائرة. ٨٠-ظ

مثال ذلك: أن نفرض الكرة كرة ا جـ ب وقطرها خط ا ب، ونقيم على ب عمود ب د وعلى ا عمود ا ه.

فأقول: إنّ الذي يرى من كرة ا جـ ب أقلّ من نصفها وإنّ السطح الذي يرى منها تحيط به دائرة.



برهان ذلك: أن زاويتي ب ا ه ا ب د قائمتان، فخطا ا ه ب د متوازيان لا يلتقيان، وإن إخراجًا إخراجًا دائمًا، وهما مماسان لكرة ا جـ ب. ونفرض الناظر علامة وَ، ونخرج منه عموداً إلى زَ من خط ا ب ونفرضه مركز كرة ا جـ ب؛ فليس يمكن أن يخرج من وَ خط إلى ا مستقيم ولا إلى ب من وَ خط مستقيم إلا قطعا قوسي ا جـ ب جـ، لأنه لا يمكن أن يخرج بين خط ا ه المماسّ لدائرة ا جـ ب وبين قوس ا جـ خط مستقيم إلى وَ إلا قطع قوس ا جـ. وكذلك لا يمكن أن يخرج من وَ إلى ب خط مستقيم وب د مماسّ لدائرة ب جـ ا إلا قطع قوس ب جـ. والشعاع الخارج إلى الكرة من البصر نهايتاه مماستان للكرة. فليكن خط خارج من وَ ويماس قوس ا جـ ونفرضه خط وَ ح، ونفرض حَ من قوس ا جـ، وخط <آخر>

2-1 <...>: نقل هذه العبارة ابن عيسى فيما نقله من كتاب الكندي، وأتبعها بفقرة قد تكون من الكندي أيضًا؛ انظر note complémentaire – 7 إن: اين / كرة: كدة – 9 فخطا: فخط – 11 زَ: و – 13 قوسي: قوس – 14 بين: من / وبين: ومن – 18 وَ ح: و جـ.

l'arc *BC*, soit la droite *FI*, et supposons *I* sur l'arc *BC* ; par conséquent l'arc *HCI* est plus petit que l'arc *ACB*[42]. On ne voit donc pas toute la demi-sphère, étant donné que le diamètre qui sépare sa moitié est la droite *AB* et la corde qui lui est parallèle menée des extrémités du rayon tangent à la sphère *ACB* est la droite *HI*. Menons de *H* jusqu'à *G* la droite *HG* et de *I* jusqu'à *G* la droite *IG*, les deux angles *FHG* et *FIG* sont égaux et droits. Par conséquent le triangle *GHF* est inscrit dans un cercle dans lequel est aussi inscrit le triangle *GIF*, étant donné que la droite *FG* est commune. Mais les deux droites *FH* et *FI* sont égales, car les deux droites *GH* et *GI* sont égales puisqu'elles sont menées d'un même centre jusqu'à la circonférence de leur cercle, et la droite *FG* est interceptée par les deux angles droits <formés> par *GH*, *HF* et par *GI*, *IF* ; or *GH* et *GI* sont égales, il reste donc *HF* égale à *IF*. Traçons sur les deux triangles *GHF* et *GIF* un cercle circonscrit, soit le cercle *GHFI*. Par conséquent si on fixe l'axe *FG* du cône *GHFI*[43] et si on fait tourner le cône autour de lui, le point *I* tourne sur la surface extérieure de la sphère dans la direction de *A*
81r avec la distance de la droite *JI* qui est la moitié / de la droite *HI* jusqu'à ce qu'il aboutisse à la position *H*, *H* tourne avec lui au-dessous de la sphère avec la distance *JH* jusqu'à ce qu'il aboutisse au point *I*, puis *I* aboutit par le dessous de la sphère à sa position initiale et *H* aboutit par le dessus de la sphère à sa position initiale, ainsi les deux droites *HF* et *IF* tracent, par les deux points *H* et *I*, un cercle à partir des deux centres[44] avec la même distance.

On a ainsi montré que le rayon mené de *F* tangent à la sphère entoure un cercle qui est celui que les deux droites *FH* et *FI* tracent par leur mouvement autour de l'axe *FG* ; or *HJ* est plus petite que *AG* qui est le demi-diamètre de la sphère, *HI* est donc plus petite que *AB* qui est le diamètre de la sphère.

On a ainsi montré qu'on ne voit de la sphère que moins de sa moitié, car les deux rayons *FH* et *FI* n'entourent pas ce qu'entourent de la sphère les deux droites *EA* et *DB*. Ce qu'il fallait démontrer[45].

---

[42] Al-Kindī vient de démontrer que $H \neq A$ et $I \neq B$; dans les propositions 28 et 29, il précisera de deux façons différentes que *H* et *I* sont nécessairement sur le demi-cercle *ACB*.

[43] Il s'agit ici du faisceau de rayons visuels, c'est-à-dire le cône mentionné plus haut.

[44] Il s'agit d'un seul centre *J*.

[45] Voir note complémentaire.

خارج من وَ يماسّ قوس ب جـ وهو خط و ط المستقيم، ونفرض ط من قوس ب جـ. فإذاً قوس ح جـ ط أصغر من قوس ا جـ ب. فإذاً ليس يرى نصف الكرة، إذ القطر الفاصل لنصفها خط ا ب والوتر الموازي له الخارج من نهايات الشعاع المماس لكرة ا جـ ب خط ح ط. ونخرج من ح إلى ز خط ح ز مستقيمًا، ومن ط إلى ز خط ط ز مستقيمًا، فزاويتا و ح ز و ط ز متساويتان قائمتان. فإذاً قد تحيط بمثلث ز ح و دائرة هي أيضًا التي تحيط بمثلث ز ط و إذ <خط و ز مشترك. و>خطا و ح و ط متساويان، لأن خطي ز ح ز ط متساويان، لأنهما خارجان من مركز واحد إلى محيط دائرتهما، وخط و ز الموتر للزاويتين القائمتين [فتوتر] على ز ح ح و وعلى ز ط ط و - <و>ز ح ز ط متساويان، فيبقى ح و مساويًا لـ ط و. فنخطّ على مثلثي ز ح و ز ط و دائرة تحيط بهما، وهي دائرة ز ح و ط. فإذاً مخروط ز ح و ط ز، إذا أثبت عموده الذي هو و ز وأدير المخروط عليه، دارت نقطة ط على ظاهر الكرة إلى جهة آ بُعد خط ي ط الذي هو نصف / خط ح ط حتى تنتهي إلى موضع ح، ودارت ح معها من تحت الكرة بُعد ي ح حتى تنتهي إلى موضع ط، ثم تنتهي ط من تحت الكرة إلى موضعها الأول، وتنتهي ح من ظاهر الكرة إلى موضعها الأول، فيرسم خطا ح و ط و دائرة بعلامتي ح وط من مركزي بُعد واحد. ٨١ - و

فقد تبيّن أن الشعاع المماس الكرة الخارج من وَ يحيط بدائرة هي التي يرسمها خطا و ح و ط بحركتهما على محور و ز، وح ي أصغر من ا ز الذي هو نصف قطر الكرة، فـ ح ط أصغر من ا ب الذي هو قطر الكرة.

فقد تبيّن أنه لا يرى من الكرة إلا أقلّ من نصفها، لأنه لا يحيط شعاعا و ح و ط بما يحيط به خطا ه ا د ب من الكرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

2 أصغر: اصعها - 6 بمثلث: بمثلم- 8 ز ط: و ط - 10 ح و: جو / ز ط ط و: ز ط و - 19 و ز: وحر.

– 25 – Si on regarde une sphère, puis si on se rapproche suivant la direction de la perpendiculaire menée de la pupille à la sphère, alors ce qu'on voit de la sphère quand la pupille s'approche est plus petit que ce qu'on en voyait de plus loin, et on le croit plus grand dans la sensation.

Exemple : Supposons que la sphère est la sphère *AB*, que la pupille est au point *C* et que le diamètre[46] auquel on peut mener de *C* une perpendiculaire qui le partage en deux moitiés est la droite *AB*, la perpendiculaire étant *DC* et *D* étant le centre de la sphère *AB*.

Je dis que ce qu'on voit de la sphère *AB*, à partir du point *C*, est plus grand que ce qu'on voit de toute position, c'est-à-dire de tout point supposé plus proche que *C* de l'arc *AB*, alors que l'on croit, dans la sensation, que ce dernier est plus grand.

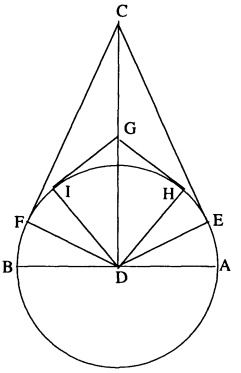


Fig. 25

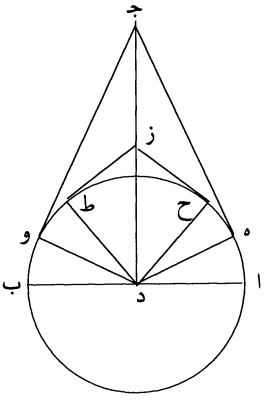
Démonstration : Supposons les deux extrémités du rayon mené de *C* – qui est la pupille – à la sphère *AB* les deux points *E* et *F* ; l'arc *EF* est plus petit que l'arc *AB* d'après la proposition précédente, et les deux droites *EC* et *FC* sont tangentes à l'arc *AB* du côté de *C*, car le dernier
81v rayon qui tombe de l'œil / sur la sphère est une droite tangente à la sphère et on ne peut absolument pas mener du point *E* une droite qui sépare l'angle *CEF* ; en effet elle en sortirait dans le triangle *CEF* et couperait l'arc *EF*. Si par conséquent l'œil s'approche de la position *G*, qui est plus proche que *C* de l'arc *AEFB*, les deux extrémités de son rayon qui sont les deux droites tangentes à l'arc *EF* en deux points de

[46] Litt. : son diamètre.

– كه – كل كرة ينظر إليها، ثم يدنو على سمت العمود الخارج من ناظره إليها منها، فإن الذي يرى منها، إذا دنا، أقلّ مما كان يرى منها على البعد ويظنّ أنه أعظم في الحسّ.

مثال ذلك: أن نفرض الكرة كرة آ ب والناظر عند نقطة جـ وقطرها الذي يمكن أن يخرج من جـ إليه عمود يفصله بنصفين خط آ ب، والعمود د جـ ودَ مركز كرة آ ب.

فأقول: إن الذي يرى من كرة آ ب <من> علامة جـ أعظم مما يرى من كلّ موضع، أعني أيّ علامة فرضت أقرب إلى قوس آ ب من جـ ويُظنّ الذي يُرى منها أعظم في الحسّ.



برهان ذلك: أن نفرض نهايتي الشعاع الخارج من جـ التي هي الناظر، إلى كرة آ ب علامتي هَ وَ، فقوس هـ وَ أصغر من قوس آ ب لما قدمنا في الشكل الذي قبل هذا، وخطا هَ جـ وَ جـ مماسان لقوس آ ب التي تلي جـ، لأن آخر شعاع يقع من البصر/ على الكرة خطٌ مماسٌ للكرة وليس يمكن ٨١-ظ أن يخرج من نقطة هَ خطٌ يفصل زاوية جـ هـ وَ مستقيم بتة، بل يخرج منها في مثلث جـ هـ وَ <و>يقطع قوس هـ وَ. فإذاً، إن دنا البصر إلى موضع زَ، الذي هو أقرب إلى قوس آ هـ و ب من جـ، فيما بين نهايتي شعاعه اللتين هما خطان مماسان لقوس هـ وَ وعلى نقطتين من قوس هـ وَ، فكل واحد

1 يدنو: يدنوا – 14 منها: منهما – 15 إن دنا: اردنا – 17 فكل: كل.

l'arc *EF*, alors chacune[47] est plus proche que les deux droites *CE* et *CF* de la perpendiculaire *CD*. Menons le rayon de *G* à l'arc *EF* et supposons que les deux points auxquels on l'a mené sont les deux points *H* et *I* ; l'arc *HI* est donc plus petit que l'arc *EF*, ce qu'on voit de *G* est une surface circulaire, d'après la proposition précédente, la portion de l'arc du grand cercle qui passe par son centre et la partage en deux moitiés est l'arc *HI*[48] et ce que l'œil voit de la sphère *AB*, s'il est au point *C*, est une surface circulaire de la surface de la sphère *AB* ; l'arc de grand cercle qui passe par son centre et qui la partage en deux moitiés est l'arc *EF* et l'arc *EF* est plus grand que l'arc *HI*. La surface *HI* de la sphère vue à partir du point *G* est donc plus petite que la surface *EF* de la sphère *AB* qui est vue du point *C*. Par conséquent ce qu'on voit de la sphère, si on s'approche d'elle, est plus petit que ce qu'on en voit de plus loin que cette position. Mais puisque l'angle *GHD* est droit dans le triangle *DHG* et que l'angle *DEC* est droit dans le triangle *DEC* et que l'angle *GDH* est plus petit que l'angle *GDE* car il en est une partie, il reste par conséquent l'angle *DGH* plus grand que l'angle *ECD* ; par le même procédé on montre que l'angle *DGI* est plus grand que l'angle *DCF*. Par conséquent l'angle *HGI* est plus grand que l'angle *ECF* ; mais ce qu'on voit sous un grand angle est vu plus grand dans la sensation, par conséquent ce qu'on voit de la sphère *AB* si on s'en approche est <vu> plus grand que ce qu'on voit de plus loin
82r que cette position car l'angle *HGI* / sous lequel on voit la sphère *AB* de plus près est plus grand que l'angle *ECF* sous lequel on voit la sphère *AB* de loin, c'est-à-dire d'une position plus éloignée de la sphère que le point *G*. Par conséquent ce qu'on voit de la sphère à partir de la position la plus proche d'elle est en réalité plus petit que ce qu'on voit de la sphère à partir de la position la plus éloignée d'elle, bien que dans la sensation en ce qu'on voit et croit, elle soit vue plus grande. Ce qu'il fallait démontrer[49].

– 26 – Pour toute sphère dont le diamètre est égal à la distance entre les deux pupilles de l'homme, c'est-à-dire à la distance entre les deux perpendiculaires menées des centres des deux pupilles à la droite qui est le diamètre de la sphère dont une partie est opposée à la vue, celui qui la regarde par ces deux pupilles voit d'elle sa moitié.

---

[47] Il s'agit de chacune des tangentes menées d'un point du segment *CG*.
[48] L'arc *HI* passe par le pôle de la calotte vue de *G* et la partage en deux moitiés.
[49] Voir note complémentaire.

منهما أقرب إلى عمود جـ د من خطي جـ ه جـ و. فلنخرج الشعاع من ز إلى قوس ه و، ونفرض النقطتين اللتين خرج إليهما نقطتي ح ط، فقوس ح ط أقصر من قوس ه و، فالذي يرى من ز سطح مستدير كما قدمنا في الشكل الذي قبله، وقطعة القوس من الدائرة العظيمة التي تمرّ على مركزه وتفصله بنصفين هي قوس ح ط، والذي يرى البصر من كرة ا ب، إذا كان على علامة جـ، هو سطح مستدير من سطح كرة ا ب، فالقوس المارة على مركز القاسمة له بنصفين من دائرة عظيمة هي قوس ه و و<قوس> ه و أعظم من <قوس> ح ط. فإذاً سطح ح ط من الكرة الذي رئي من علامة ز أصغر من سطح ه و من كرة ا ب الذي رئي من علامة جـ. فإذاً الذي يرى من الكرة، إذا يقرب منها، أقلّ مما يرى منها من أبعد من ذلك الموضع. لأن زاوية ز ح د قائمة من مثلث د ح ز وزاوية د ه جـ قائمة من مثلث د ه جـ وزاوية ز د ح أصغر من زاوية ز د ه لأنها بعضها، فتبقى إذاً زاوية د ز ح أعظم من زاوية ه جـ د. وبهذا التدبير يتبين أن زاوية د ز ط أعظم من زاوية د جـ و. فإذاً زاوية ح ز ط أعظم من زاوية ه جـ و؛ والذي يرى بزاوية عظيمة يرى أعظم في الحسّ، فإذاً، الذي يرى من كرة ا ب، إذا يقرب منها، أعظم مما يرى منها من أبعد من ذلك الموضع، لأن زاوية ح ز ط التي / ترى بها كرة ا ب من قرب أعظم من زاوية ه جـ و التي ٨٢-و ترى بها كرة ا ب من بعد، أعني من موضع أبعد من الكرة من علامة ز. فإذاً، الذي يرى من الكرة من الموضع الأقرب منها أقلّ مما يرى منها من الموضع الأبعد منها بالحقيقة، إلا أنه بالحسّ فيما يرى ويظنّ، يرى أعظم؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– كو – كل كرة يكون قطرها مساوياً لبعد ما بين ناظري الإنسان، أعني بعد ما بين العمودين الخارجين من مركزي الناظرين إلى الخط الذي قطر الكرة المقابل للبصر بعضه، فإن الناظر إليها بذينك الناظرين يرى منها نصفها.

7 عظيمة: عظمه – 8 فإذاً: فان – 14 د جـ و: ز جـ و.

Exemple : Le diamètre de la sphère *AB*, qui est la droite *AB*, est égal à la distance entre les deux pupilles de celui qui la regarde. Supposons l'une des pupilles le point *C* et l'autre le point *D*, et supposons *CD* parallèle à la droite *AB*. La droite *CA* est perpendiculaire au point *A* et la droite *DB* perpendiculaire au point *B*.

Je dis que les deux extrémités du rayon tombant sur la sphère *AB* sont par conséquent les deux droites *CA* et *DB*, et que ce qu'on voit de la sphère *AB* est sa moitié.

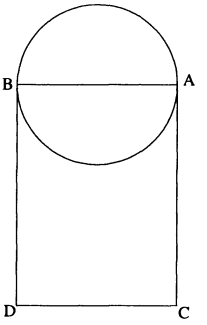


Fig. 26

Démonstration : L'arc *AB* qui est du côté de la droite *CD* est la demi-circonférence du cercle *AB* car *AB* a été supposée égale à *CD* et parallèle à elle et *CA* est supposée perpendiculaire en *A* et *DB* est supposée perpendiculaire en *B*. Les deux angles *CAB* et *ABD* sont donc droits ; c'est pourquoi tous les angles du quadrilatère *ABDC* sont droits. Par conséquent la droite *CA* est tangente à la sphère *AB* au point *A* et la droite *DB* est tangente à la sphère *AB* au point *B*. Par conséquent, ce que contiennent les deux extrémités du rayon tombant sur la sphère *AB*, c'est-à-dire les deux droites *AC* et *BD*, est l'arc *AB* qui est du côté de *CD* et qui est la demi-circonférence du cercle *AB*. Mais l'œil[50] perçoit de la sphère une surface circulaire, comme nous l'avons vu précédemment ; par conséquent le grand cercle *AB* sépare sur son centre la surface perçue
82v par la vue à partir de *C* et de *D* en deux moitiés[51] / et <cette surface> est par conséquent la moitié de la surface de la sphère *AB*. Ce qu'il fallait démontrer[52].

---

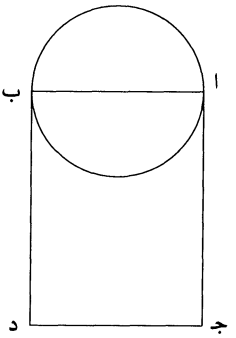
[50] Chaque œil.

[51] Dans le plan de la figure, l'arc *AB* sépare la demi-sphère vue en deux moitiés en passant par son pôle.

[52] Voir note complémentaire.

مثال ذلك: أن قطر كرة آ ب، الذي هو خط آ ب، مساوٍ لبعد ما بين ناظري الناظر إليها. ونفرض أحد الناظرين نقطة جـ والآخر نقطة دَ، ونفرض جـ د موازيًا لخط آ ب، وخط جـ آ المستقيم عمود على علامة آ وخط د ب المستقيم عمود على علامة بَ.

فأقول: إن نهايتي الشعاع الواقع على كرة آ ب إذاً كانا خطي جـ آ د ب، وإن الذي يرى من كرة آ ب نصفها.



برهان ذلك: أن قوس آ ب التي في جهة خط جـ د نصف محيط دائرة آ ب لأن آ ب فرض مساويًا لـ جـ د وموازيًا له، وجـ آ فرض عموداً على آ ود ب فرض عموداً على بَ. فزاويتا جـ آ ب آ ب د قائمتان، ولذلك جميع زوايا مربع آ ب د جـ قائمة. فإذاً خط جـ آ يماسّ كرة آ ب على علامة آ وخط د ب يماسّ كرة آ ب على علامة بَ. فإذاً الذي يحوز نهايتي الشعاع الواقع على كرة آ ب، وهما خطا آ جـ ب د، هي قوس آ ب التي في جهة جـ د التي هي نصف محيط دائرة آ ب. والبصر يدرك من الكرة سطحًا مستديراً كما قدمنا قبل هذا الموضع، فإذاً دائرة آ ب العظمى فاصلة للسطح الذي يدركه البصر من جـ ودَ بنصفين على مركزها، / فإذاً هو نصف سطح كرة آ ب؛ وهو ما أردنا أن نبين. ٨٢-ظ

6 وإن: فان – 10 فإذاً: فاذا – 11 علامة: على مة / نهايتي: نهاية – 14 فاصلة: الفاصلة.

– 27 – Si la distance entre les deux yeux qui regardent la sphère est plus grande que le diamètre de la sphère, alors ce qu'on voit de la sphère est plus grand que sa moitié si les conditions concernant la position des pupilles à vis-à-vis du diamètre de la sphère, sont celles introduites dans la proposition précédente.

Exemple : Supposons que la sphère est la sphère *AB*, son diamètre la droite *AB* et la droite menée de l'une des pupilles à l'autre la droite *CD* ; et supposons que la droite *CD* est plus grande que la droite *AB* et lui est parallèle[53].

Je dis que les deux pupilles *C* et *D* voient de la sphère *AB* plus que sa moitié.

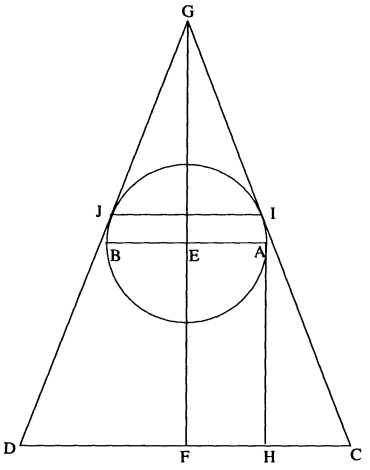


Fig. 27

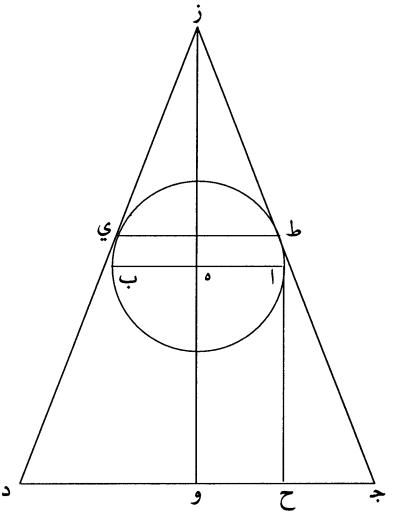
Démonstration : La droite menée de *C* tangente à la sphère ne la touche pas au point *A*, car si nous menons du centre de la sphère *AB*, qui est *E*, une perpendiculaire à la droite *CD*, soit la perpendiculaire *EF*, et si nous la prolongeons ainsi que la droite menée de *C* et la droite menée de *D*, qui sont les deux tangentes, jusqu'à ce qu'elles se rencontrent en un point – supposons ce point le point *G* ; si nous séparons de la droite *CF* la droite *FH* égale à la droite *AE*, alors l'angle *AHF* est droit car <les droites> qui joignent les extrémités des droites parallèles sont égales et aussi parallèles ; le quadrilatère *AHFE* est un parallélogramme droit, la

[53] Al-Kindī suppose que *AB* et *CD* ont la même médiatrice.

– كز – إذا كان بعد ما بين البصرين الناظرين إلى الكرة أكثر من قطر الكرة، فإن الذي يرى من الكرة أكثر من نصفها، إذا كانت الشرائط في موضع الناظرين من محاذاة قطر الكرة هي الشرائط التي تقدمت في الشكل الذي قبل هذا.

مثال ذلك: أن نفرض الكرة كرة ا ب، وقطرها خط ا ب، والخط الخارج من أحد الناظرين إلى الآخر خط جـ د، ونفرض خط جـ د أعظم من خط ا ب وموازيًا له.

فأقول: إن ناظري جـ د يبصران من كرة ا ب أكثر من نصفها.



برهان ذلك: أن الخط الخارج من جـ المماسّ للكرة لا يماسّها على علامة آ، لأنا إذا أخرجنا من مركز كرة ا ب، الذي هو ه، عمودًا على خط جـ د، وهو عمود ه و، <و>أخرجناه على استقامة والخط الخارج من جـ والخط الخارج من د المماسّين المستقيمين، حتى تلتقي على نقطة، ونفرض النقطة نقطة ز، وفصلنا من خط جـ و خط و ح مساويًا لخط ا ه، كانت زاوية ا ح و قائمة، لأن الواصل بين أطراف <الخطوط> المستقيمة المتوازية <المتساوية> متساويةٌ <و>أيضًا متوازية، فمربع ا ح و ه متوازي الأضلاع

1 أكثر: اكبر – 2 أكثر: اكبر – 9 لا يماسها: لا نهاسها – 11 على: علا – 13 وفصلنا: وفضلنا / خط (الثانية): وخط – 14 ا ح و: ح ا ه / بين: من – 15 ا ح و ه: ا ح ه و.

droite *AH* est donc tangente à la sphère *AB* au point *A*. Si donc la droite menée de *C* tangente à la sphère touchait la sphère du côté de *C* au point *A*, alors on aurait mené entre la droite *CA* et l'arc *AB* du côté de *CFD* une droite qui ne couperait pas le cercle ; or la fausseté de cela a été montrée dans les *Éléments*[54]. On ne peut pas mener de *C* une droite jusqu'au point *A* de l'arc *AB*, du côté de *F*, sans couper le cercle, car si on la mène entre la tangente et le cercle, elle coupe le cercle ; par conséquent la droite menée de *C* touche le cercle en un point plus proche
83r du côté de *G* que le point *A* / du côté de *G* ; soit le point *I*. Que le point sur lequel la droite menée de *D* touche le cercle soit le point *J*. La droite *IJ* est donc plus courte que la droite *AB* ; par conséquent les deux yeux entourent un cercle sur la surface de la sphère séparée en deux moitiés[55] par l'arc *IABJ*, et l'arc *IABJ* est plus grand que l'arc *AB* qui entoure la demi-sphère. Par conséquent ce que les deux yeux perçoivent de la sphère *AB* est plus grand que sa moitié, si la distance entre les yeux est plus grande que le diamètre du cercle. Ce qu'il fallait démontrer[56].

– 28 – Mais si nous regardons la sphère dont le diamètre est plus grand que la distance entre les deux pupilles, mentionnée par Euclide dans la proposition vingt-huit, nous trouvons la proposition vingt-quatre elle-même, car celui qui regarde perçoit de la sphère moins que sa moitié s'il y a entre les deux pupilles moins que le diamètre de la sphère. Mentionnons cela et répétons-le comme il l'a répété pour qu'aucune des propositions de son livre ne soit délaissée.

Exemple : Supposons que la sphère est la sphère *AB* et que son diamètre parallèle à la droite qui joint les deux pupilles est la droite *AB*, nous supposons les deux pupilles *C* et *D* et nous supposons que la perpendiculaire qui sépare la droite *AB* en deux moitiés, sépare la droite *CD* en deux moitiés ; soit la droite *EF* ; le point qui sépare *AB* en deux moitiés est *F*, et *E* est l'extrémité de la droite qui passe par la droite *CD* à l'opposé de la direction de *F*. Nous supposons que les deux extrémités du rayon menées des deux pupilles *C* et *D* tangentes à la sphère *AB* sont les droites *ECG* et *EDH*.

Je dis que les points *G* et *H* sont plus proches du point *E* que les points *A* et *B*[57].

---

[54] Euclide, III.16.

[55] L'arc *IABJ* sépare en deux moitiés la partie de la surface de la sphère vue à partir de *C* et *D*.

[56] Voir note complémentaire.

[57] Voir note complémentaire.

قائم الزوايا، فخط آ حـ مماسّ لكرة آ ب على علامة آ. فإن كان الخط الخارج من جـ المماسّ للكرة في جهة جـ يماسّ الكرة على علامة آ، فقد خرج فيما بين خط جـ آ المستقيم وقوس آ ب الذي يلي جـ و د خط مستقيم لم يقطع الدائرة؛ وقد تبين بطلان ذلك في كتاب *الأسطقسات*.

وليس يمكن أن يخرج من جـ خطٌّ ‹مستقيم› إلى علامة آ من قوس آ ب التي تلي وَ، إلا قطع الدائرة، لأنه إذا خرج فيما بين المماسّ والدائرة، قطع الدائرة، فإذاً إنما يماسّ الخط الخارج من جـ الدائرة على علامة أقرب إلى جهة زَ، من آ / إلى جهة زَ، فلتكن علامة طَ. ولتكن العلامة التي يماسّ ٨٣-و عليها ‹الخط› الخارج من دَ الدائرة علامة يَ. فخط طـ يَ أقصر من خط آ ب؛ فإذاً البصران يحيطان بدائرة من سطح الكرة التي يفصلها قوس طـ آ ب يَ بنصفين، وقوس طـ آ ب يَ أعظم من قوس آ ب المحيطة بنصف الكرة. فإذاً الذي يدرك البصران من كرة آ ب أكثر من نصفها، إذا كان بعد ما بين البصرين أكثر من قطر الكرة؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– كحـ – وأما إذا نظرنا إلى الكرة التي قطرها أكثر من بعد ما بين الناظرين التي ذكرها أوقليدس في الشكل الثامن والعشرين، فهو الشكل الرابع والعشرين بعينه، لأن الناظر إنما يدرك من الكرة أقلّ من نصفها إذا كان بين الناظرين أقلّ من قطر الكرة. ولنذكره ونعيده كما أعاده لئلا يتخلف عن كتابه شيءٌ من أشكاله.

مثال ذلك: أن نفرض الكرة كرة آ ب وقطرها الموازي للخط المستقيم الواصل بين الناظرين خط آ ب، ونفرض الناظرين جـ وَدَ، ونفرض العمود الفاصل لخط آ ب بنصفين يفصل خط جـ دَ بنصفين، وهو خط هَ و، والفاصلة آ ب بنصفين وَ، ‹و›هَ طرف الخط الجائز بخط جـ دَ في خلاف جهة وَ، ونفرض نهايتي الشعاع الخارجتين من ناظري جـ وَدَ المماسين لكرة آ ب خطي هَ جـ زَ هَ دَ حـ.

فأقول: إن نقطتي زَ وحـ أقرب إلى علامة هَ من نقطتي آ ب.

2 على: علا – 8 العلامة: علامة – 12 البصران: البصر – 17 ولنذكره: ولنذكر / أعاده: عاده – 21 هَ وَ: هـ و د.

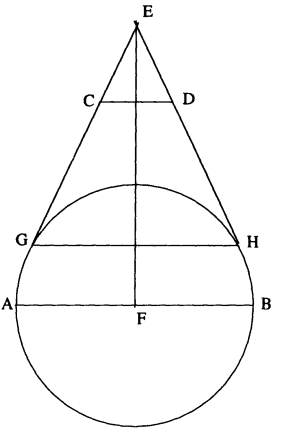


Fig. 28

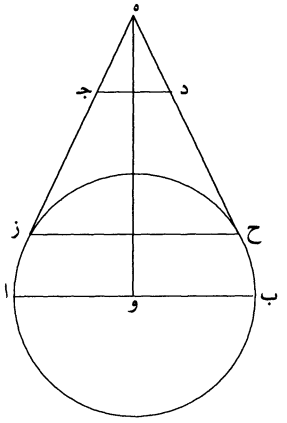
Démonstration : Si les points *G* et *H* étaient les points *A* et *B*, alors le rayon mené des deux pupilles, entre lesquelles la distance est égale au diamètre de la sphère regardée, et le rayon mené des deux pupilles entre lesquelles la distance est plus petite que le diamètre de la sphère, toucheraient, tous les deux, la sphère en un même point. Ainsi sortirait entre la droite tangente à la sphère et l'arc qu'elle a touché dans la direction de cette droite, une droite ; ce qui est absurde comme nous l'avons expliqué précédemment. Par conséquent il n'est pas possible que le rayon *ECG* touche la sphère au point *A*, pas plus que <le rayon> *EDH* ne touche la sphère au point *B* ; et ils ne touchent pas la sphère en deux
83v points / de l'arc *AB* à l'opposé de la direction de *E*, car s'ils la touchaient en deux points dans la direction de cet arc, la droite *CD* serait plus grande que le diamètre *AB* ; or elle est plus petite qu'elle ; ce qui est absurde. Par conséquent *GH* est plus proche de *E* que la droite *AB*, l'arc *GH* est donc plus petit que l'arc *AGHB*. Par conséquent, ce qu'on voit de la sphère *AB* par les deux pupilles *C* et *D* est plus petit que sa moitié. Par conséquent, ce qu'on voit par les deux pupilles entre lesquelles la distance est plus petite que le diamètre de la sphère est plus petit que la moitié de la sphère. Ce qu'il fallait démontrer.

Ce qui se produit lorsqu'on regarde un cylindre[58] est la même <chose> que ce qui se produit lorsqu'on regarde une sphère, c'est-à-dire que si la distance entre les deux pupilles est plus petite que le diamètre de sa base à laquelle toute droite menée à partir d'elle suivant la longueur de la surface du cylindre est perpendiculaire suivant des angles droits[59], alors

---

[58] Litt. : les cylindres.

[59] Al-Kindī ne mentionne pas cette hypothèse dans les exemples qu'il étudie ici. Le raisonnement est valable pour tout cylindre à base circulaire de révolution ou non.



برهان ذلك: أنهما إن كانتا علامتا زَ حَ هما علامتي آ بَ، فإن الشعاع الخارج من الناظرين اللذين بعد ما بينهما مساوٍ لقطر الكرة المنظور إليها، والشعاع الخارج من الناظرين اللذين بعد ما بينهما أقلّ من قطر الكرة، يماسّ كل واحد منهما الكرة على نقطة واحدة. فيخرج فيما بين الخط المستقيم المماسّ للكرة والقوس التي ماسّ في جهة ذلك الخط، خطٌّ مستقيمٌ؛ وهذا خلف كما قدمنا. فإذاً ليس يمكن أن يكون شعاع ه جـ زَ يماسّ الكرة على علامة آ، وكذلك ه د حَ لا يماسّ الكرة على علامة بَ، ولا يماسان الكرة على علامتين / من قوس آ بَ التي في خلاف جهة هَ، ٨٣-ظ لأنهما إن ماسّا على نقطتين في جهة تلك القوس كان خطّ جـ دَ أعظم من قطر آ بَ، وهو أصغر منه؛ وهذا خلف. فإذاً زَ حَ أقرب إلى هَ من خط آ بَ، فقوس زَ حَ أصغر من قوس آ زَ حَ بَ. فإذاً الذي يرى من كرة آ بَ بناظري جـ ودَ أقلّ من نصفها. فإذاً الذي يرى بالناظرين اللذين بعد ما بينهما أقلّ من قطر الكرة أقلّ من نصف الكرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

والذي يعرض من النظر إلى الأساطين هو ما يعرض في الكرة بعينه، أعني أنه إذا كان بعد ما بين الناظرين أقلّ من قطر قاعدتها، التي كل خط مستقيم خرج منها في طول سطح الأسطوانة كان منها قائماً على

4 يماس: يما من – 6 فإذاً: فااذا.

ce que celui qui regarde perçoit de lui est plus petit que la moitié de la surface du cylindre ; si la distance entre les deux pupilles est égale au diamètre que nous avons déterminé, alors ce qu'on voit de la surface du cylindre est sa moitié et si la distance entre les deux pupilles est plus grande que le diamètre de la base du cylindre que nous avons déterminé, alors ce qu'on voit de la surface du cylindre est plus grand que sa moitié, car la surface perpendiculaire[60] qui tombe aux points de contact du rayon avec la base du cylindre suit nécessairement le cylindre jusqu'à son autre extrémité suivant une droite perpendiculaire aux deux bases du cylindre, et ainsi ce qu'entourent ces deux droites, communes aux deux plans tangents et au cylindre, et les deux arcs, le plus haut et le plus bas, entre les deux plans tangents – chacun des deux arcs étant plus petit qu'un demi-cercle, égal à un demi-cercle ou plus grand qu'un demi-cercle – permettront d'avoir, dans chacun des cas, une même proportion[61].

Si les yeux[62] s'approchent du cylindre et que la distance des pupilles est plus petite que le diamètre du cercle de la base du cylindre que nous
84r avons déterminé, alors ce qu'on voit / du cylindre en réalité est plus petit que ce qu'on en voit si celui qui regarde s'en éloigne, et on le croit plus grand d'après ce que détermine la sensation. Le procédé et les démonstrations dans ce cas pour les sphères et les cylindres sont les mêmes. Mais nous allons décrire ces propositions décrites par Euclide pour ne délaisser aucune proposition de son livre sans la vérifier.

– 29 – Pour tout cylindre regardé d'une position quelconque, une fois que la vue a rencontré la surface de ce qui l'entoure entre ses deux bases, alors elle en voit moins que sa moitié si la distance entre les deux pupilles est plus petite que le diamètre de la base qui est le cercle qui est son extrémité.

Exemple : Supposons la base du cylindre le cercle *AB*, le diamètre de cette base la droite *AB* ; les trajets des deux droites des rayons visuels menés se rencontrent à l'opposé de la direction *AB* au point *C*, et la distance entre les deux pupilles est plus petite que la droite *AB* ; supposons les deux extrémités du rayon mené de *C* les droites *CD* et *CE* et le centre du cercle qui sépare *AB* en deux moitiés le point *F* ; menons la droite *CF*. La droite *CD* est donc tangente au cercle *AB* en un point

---

[60] Il s'agit du plan tangent.

[61] Dans chacun des cas le rapport de l'arc vu au cercle entier est égal au rapport de la partie vue du cylindre à sa surface latérale tout entière.

[62] Litt. : l'œil.

زوايا معتدلة، فإن الذي يدرك الناظر منه أقلّ من نصف سطح الأسطوانة؛ وإن كان بعد ما بين الناظرين مساوياً للقطر الذي حددنا، كان الذي يرى من سطح الأسطوانة نصفه؛ وإن كان البعد الذي فيما بين الناظرين أكثر من قطر قاعدة الأسطوانة الذي حددنا، فإن الذي يرى من سطح الأسطوانة أكثر من نصفه، لأن السطح المعتدل الذي يقع على نقط مماسة الشعاع لقاعدة الأسطوانة يلزم الأسطوانة إلى نهايتها الأخرى على خط مستقيم عموداً على قاعدتي الأسطوانة، فالذي يحوز هذان الخطان المشتركان للسطحين المماسين <و>للأسطوانة والقوسان اللتان فيما بين <السطحين> المماسين أسفلها وأعلاها - إذ كلّ واحدة من القوسين أقلّ من نصف الدائرة أو مساوية لنصف الدائرة أو أكثر من نصف الدائرة - يجوز منها في كل المواضع نسبة واحدة.

وإن البصر إذا قرب من الأسطوانة الذي بعد ما بين ناظريه أقلّ من قطر دائرة قاعدة الأسطوانة الذي حددناه، فإن الذي / يرى من ٨٤-و الأسطوانة بالحقيقة أقلّ مما يرى منها إذا بعد الناظر منها، ويظنّ أنه أكثر مما يحدّ الحسّ. فإن التدبير والبراهين في هذه الحال من الأكر والأساطين واحدة. ولكنّا نرسم هذه الأشكال التي رسمها أوقليدس لئلا يتخلف من كتابه شكل يعدم تحقيقه.

- كط - كل أسطوانة ينظر إليها من أي المواضع نظر إليها بعد أن يكون البصر يلقى سطحًا ما يحيط بها فيما بين قاعدتيها، فإنه يرى منها أقلّ من نصفها إذا كان بعد ما بين الناظرين أقلّ من قطر القاعدة وهي الدائرة التي هي نهايتها.

<مثال ذلك>: فلنفرض قاعدة الأسطوانة دائرة آ ب، وقطر هذه القاعدة خط آ ب، وسمت خطي الشعاعين الخارجين المبصرين يلتقيان في خلاف جهة آ ب على نقطة جـ، وبعد ما بين الناظرين أقل من خط آ ب، ونفرض نهايتي الشعاع الخارج من جـ خطي جـ د جـ ه، ومركز الدائرة الفاصل آ ب بنصفين نقطة و، ونخرج خط جـ و. فخط جـ د يماسّ دائرة آ ب على نقطة

1 معتدلة: أي زاوية قائمة - 2 حددنا: جددنا - 4 حددنا: جددنا - 10 يجوز: ويجوز - 11 قطر: نصف - 16 لئلا: كئلا - 17 يعدم: بعدم / تحقيقه: حقيقه - 20 القاعدة: المعتدلة - 25 جـ ه: ه.

plus proche de *C* que *A*, soit *D*, et *CE* est tangente au cercle *AB* en un point plus proche de *C* que *B*, soit le point *E* ; menons de *D* et *E* deux droites jusqu'à *F*. L'angle *FDC* est donc droit, de même l'angle *FEC* est droit, la droite menée du point *C* à *A* entoure avec *AF* un angle plus petit qu'un droit car l'angle *AFC* est droit, et le triangle entoure trois angles égaux à deux droits ; mais la droite *FA* est égale à la droite *FD* et l'angle *FDC* est droit en *D* ; or la droite *CD* est tangente au cercle et on a mené *DF* du point commun au cercle et à la droite qui lui est tangente, donc l'angle *DFC* est plus petit qu'un droit ; l'angle *DFC* est donc plus petit que l'angle *AFC*, la droite *AC* est donc plus longue que la droite *DC*, *D* est donc plus proche de *C* que *A* de *C*, *A* et *D* étant du même côté. Par le même procédé, nous montrons que *E* est plus proche de *C* que *B* de *C* ; par conséquent l'arc *DE* qui est dans la direction de *C* est plus petit que l'arc *ADEB*, alors ce que la vue perçoit de la surface du cylindre *AB* est plus petit que sa moitié.

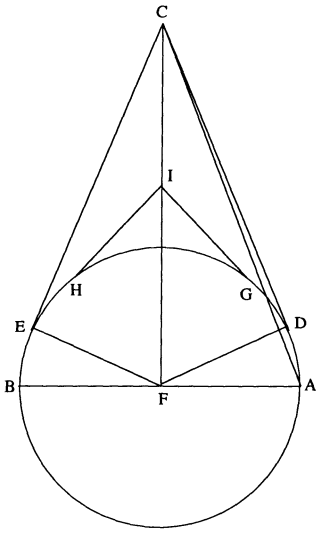
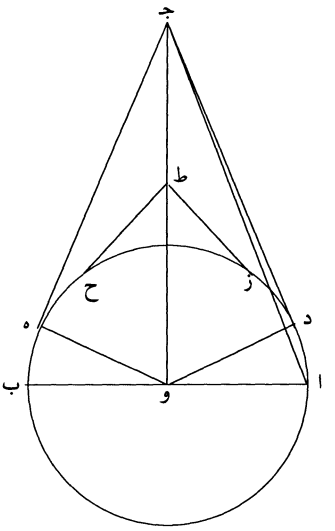


Fig. 29

Si la vue s'approche de *F* vers le cercle *AB*, alors les contacts des droites menées à partir d'elles[63] jusqu'au cercle *AB* seront plus proches
84v de *C* que / les <contacts des> droites menées de *D* jusqu'à *C* et de *E*

[63] C'est-à-dire à partir des deux pupilles.

أقرب إلى جـ من آ، وهي دَ، وجـ ه يماسّ دائرة آ ب على نقطة أقرب إلى جـ من بَ، وهي نقطة هَ؛ ونخرج من دَ وهَ خطين مستقيمين إلى وَ. فزاوية و د جـ قائمة؛ وكذلك زاوية و ه جـ قائمة، والخط الذي يخرج من نقطة جـ إلى آ يحيط مع آ و بزاوية أصغر من قائمة، لأن زاوية آ و جـ قائمة والمثلث يحيط بثلاث زوايا معادلة لقائمتين، وخط و آ مساوٍ خط و دَ وزاوية و د جـ قائمة على دَ، <و>ماسّ خط جـ د الدائرة، ود و خرج من النقطة المشتركة للدائرة والخط المستقيم المماس لها، فزاوية د و جـ أصغر من قائمة، فزاوية د و جـ أصغر من زاوية آ و جـ، فخط آ جـ أطول من خط د جـ فـ دَ أقرب إلى جـ من آ إلى جـ، إذ آ ودَ في جهة واحدة. وبهذا التدبير نبين أن هَ أقرب إلى جـ من بَ إلى جـ؛ فإذاً قوس د ه التي في جهة جـ أصغر من قوس آ د ه ب. فإذاً الذي يُدرك البصرُ <من> سطح أسطوانة آ ب أقلّ من نصفها.



وإن تَقَرَّبَ البصر من وَ نحو دائرة آ ب، كانت مماسة الخطوط الخارجة منه إلى دائرة آ ب أقرب إلى جـ من / الخطوط الخارجة من دَ إلى جـ ٨٤ - ظ

5 لقائمتين: لقائمين – 7 لها – 11 سطح: شمس.

jusqu'à *C*, comme nous l'avons montré[64] pour les propositions de la sphère. Par le même procédé, nous montrons que la droite[65] menée de la rencontre des trajets des deux rayons qui est plus proche de *F* que *C*, touche l'arc *DE* qui est dans la direction de *C* et le touche en un point plus proche de la vue que le point *D*. Supposons ces deux points[66] : du côté de *A*, le point *G*, et dans la direction de *B*, le point *H*. Que la position de la pupille soit *I* ; par conséquent l'arc *GH* est plus petit que l'arc *DE* qui est dans la direction de *C*, et si la vue s'approche du cylindre, elle voit de lui le plus petit, ce qui apparaît le plus grand, car l'angle *GIH* est plus grand que l'angle *DCE,* comme nous l'avons montré pour les propositions sur la sphère. Ce qu'on voit sous un grand angle est vu plus grand dans la sensation et on le croit ainsi ; par conséquent on croit que l'arc *GH* qui est dans la direction de *C* est plus grand que l'arc *DGHE*. Par conséquent, ce qu'on voit du cylindre *AB* de la position la plus proche est plus petit que ce qu'on en voit de <la position> la plus éloignée ; mais on croit qu'il est plus grand. Ce qu'il fallait démontrer[67].

– 30 – Pour tout cône ayant pour base un cercle, ce qu'on en voit est plus petit que sa moitié.

Exemple : Supposons que le cône a pour base *ABC*, pour sommet, c'est-à-dire sa limite, le point *D* et pour diamètre la droite *AB*. Supposons la position de la pupille le point *E*. Nous menons de *E* deux droites tangentes à l'arc *AB* qui est du côté de *E*, – la droite *EF* du côté de *A* et la droite *EG* du côté de *B* – ; nous menons du centre du cercle *AB*, qui est le point *H*, la perpendiculaire *HE* et nous menons une droite de *F* à *H* et de *G* à *H*.

Je dis que ce qu'on voit du cône *ABCD* est plus petit que sa moitié.

Démonstration : L'angle *HFE* est droit, donc l'angle qu'entourent les deux droites *FH* et *HE* est plus petit qu'un droit. Puisque l'angle *AHE* est
85r droit, l'angle *FHE* est donc une partie de l'angle *AHE*. / Par le même procédé, nous montrons que l'angle *GHE* est une partie de l'angle *BHE* ; par conséquent l'arc *AB* est plus grand que l'arc *FG* et par conséquent, ce qu'on voit du cercle *AFGB* est l'arc *FG* du côté de *E* qui est plus petit que la moitié de la circonférence du cercle *AB*. Mais les deux plans élevés sur les deux droites *FE* et *GE*, <et passant par *D*> sont tangents au cône *ABCD* suivant les deux droites menées de *F* jusqu'à *D* et de *G* jusqu'à *D*.

---

64 Voir la proposition 25 dans laquelle le résultat est donné sans justification.

65 Une des tangentes.

66 Les deux points obtenus à partir des deux tangentes.

67 Voir note complémentaire.

<ومن هَ إلى جَ>، كما بينا في أشكال الكرة. وبهذا التدبير نبين أن الخط الذي يخرج من ملتقى سمت الشعاعين الذي هو أقرب إلى وَ من جَ يماسّ قوس دَ هَ التي في جهة جَ <و>يماسها على نقطة أقرب إلى البصر من نقطة دَ؛ ولنفرض هاتين النقطتين أما في جهة آ فنقطة زَ، وأما في جهة بَ فنقطة حَ، وأما في موضع الناظر فـ طَ. فإذاً قوس زَ حَ أصغر من قوس دَ هَ التي في جهة جَ، فإذاً إذا قرب البصر من الأسطوانة، كان الذي يرى منها أقلّ، ويظن أنه أكثر، لأن زاوية زَ طَ حَ أعظم من زاوية دَ جَ هَ كما بيّنا في أشكال الكرة. والذي يرى بزاوية عظمى يرى أعظم في الحس ويظنّ ذلك به، فإذاً قوس زَ حَ التي في جهة جَ يظنّ أنها أعظم من قوس دَ زَ حَ. فإذاً الذي يرى من أسطوانة آ بَ من الموضع الأقرب أقلّ مما يرى منها من الأبعد، ويظن أنه أكثر؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– لَ – كل مخروط قاعدته دائرة، فإن الذي يرى منه أقلّ من نصفه.

مثال ذلك: أن نفرض المخروط الذي قاعدته آ بَ جَ ورأسه، أعني حدّه، علامة دَ وقطره خط آ بَ؛ ونفرض موضع الناظر نقطة هَ، ونخرج من هَ خطين يماسّان قوس آ بَ التي في جهة هَ – أما في جهة آ فخط هَ وَ، وأما في جهة بَ فخط هَ زَ؛ ونخرج من مركز دائرة آ بَ وهو علامة حَ عمود حَ هَ، ونخرج خطًا مستقيمًا من وَ إلى حَ ومن زَ إلى حَ.

فأقول: إن الذي يرى من مخروط آ بَ جَ دَ أقلّ من نصفه.

برهان ذلك: أن زاوية حَ وَ هَ قائمة، فالزاوية التي يحيط بها خطا وَ حَ حَ هَ المستقيمان أصغر من قائمة. <و>لأن آ حَ هَ قائمة، فزاوية وَ حَ هَ بعض زاوية آ حَ هَ./ وبهذا التدبير نبين أن زاوية زَ حَ هَ بعض زاوية ٨٥–و بَ حَ هَ، فإذاً قوس آ بَ أعظم من قوس وَ زَ؛ فإذاً الذي يرى من دائرة آ وَ زَ بَ قوس وَ زَ من <جهة> هَ وهو أقل من نصف محيط دائرة آ بَ. والسطحان القائمان على خطي وَ هَ وزَ هَ يماسان مخروط آ بَ جَ دَ على الخطين المستقيمين الخارجين من وَ إلى دَ ومن زَ إلى دَ. فإذاً نسبة

1 بهذا: غير واضحة – 5 الناظر: الناضر – 12 قاعدته: قاعتدته – 20 فزاوية: وزاوية – 22 بَ حَ هَ: زَ حَ هَ / وَ زَ: و د – 23 وهو: وهي، وهذا جائز إلا أنه يأخذ بصيغة المؤنث.

Par conséquent le rapport de la surface entourée par l'arc *FG* et les deux droites *FD* et *GD* à la surface du cône est plus petit que le rapport d'un demi, car sa moitié est la surface entourée par l'arc *AB* et les deux droites menées de *A* à *D* et de *B* à *D*. Par conséquent ce qu'on voit à partir du point *E*, de la surface du cône *ABCD*, est plus petit que sa moitié. Ce qu'il fallait démontrer.

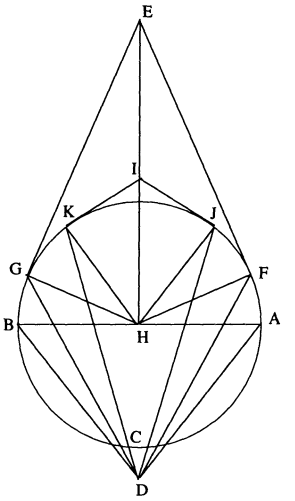


Fig. 30

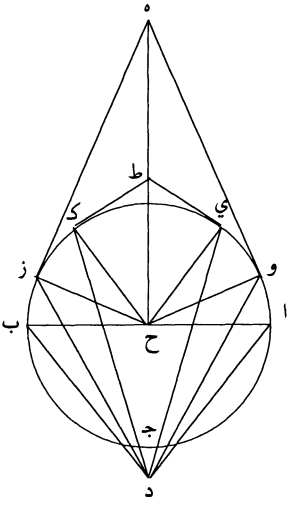
Dès lors, nous montrons que si l'œil s'approche du cône, alors on en voit moins et on croit en voir plus.

Démonstration : On suppose que la position de l'œil s'est approchée du cercle pour venir au point *I* de la droite *EH*.

Je dis que ce qu'on voit du cône *ABCD* à partir du point *I* est plus petit que ce qu'on voit de ce cône à partir du point *E*.

Menons du point *I* deux droites tangentes au cercle *AB*, elles sont donc tangentes en deux points à l'intérieur du triangle entouré par les deux droites *EF* et *EG* et l'arc *FG* qui est dans la direction de *E*. Menons du lieu de contact, lequel est du côté de *F*, le point *J*, et <de celui qui est> du côté de *G*, le point *K*, deux droites jusqu'à *H*. Les deux angles *HJI* et *HKI*

السطح الذي يحيط به قوس وَ زَ وخطا وَ دَ زَ دَ إلى سطح المخروط أقلّ من نسبة النصف، لأن نصفه هو السطح الذي يحيط به قوس آ بَ والخطان المستقيمان الخارجان من آ إلى دَ ومن بَ إلى دَ. فإذاً الذي يرى من علامة هَ من سطح مخروط آ ب جـ د أقلّ من نصفه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.



وهنالك نبيّن أن البصر إن دنا من المخروط، كان الذي يرى منه أقلّ ويظنّ أنه أكثر.

برهان ذلك: أن يفرض موضع البصر قد دنا من الدائرة وصار إلى علامة طَ من خط هَ حَ.

فأقول: إن الذي يرى من مخروط آ ب جـ د <من> علامة طَ هو أقلّ من الذي يرى من هذا المخروط من علامة هَ.

لأنا نخرج منها خطين مماسين لدائرة آ بَ، فهما يماسان على نقطتين في داخل المثلث الذي يحيط به خطا هَ وَ هَ زَ المستقيمان وقوس وَ زَ التي في جهة هَ. ونخرج من موضع المماسة وهي في جهة وَ علامة يَ وفي جهة زَ علامة كَ خطين مستقيمين إلى حَ. فزاويتا حَ يَ طَ حَ كَ طَ قائمتان،

1 أقل: اول – 2 آ بَ واخطان: ا و فى الخطان – 3 دَ ومن: د ز من – 4 أقل: اول – 14 كَ: ل.

sont droits et l'angle *HIK* est plus grand que l'angle *HEG* ; et, comme nous l'avons montré pour les cylindres, l'angle *JIK* est donc plus grand que l'angle *FEG* car le rapport d'une chose à une chose est égal au
85v rapport du double au double. Ce qu'on voit de *AFGB* / sous l'angle *FEG* est l'arc *FG* et ce qu'on voit sous l'angle *JIK* est l'arc *JK* ; mais *JK* est une partie de *FG*, donc ce qu'on voit de l'arc *AFJKGB* si la pupille est au <point> *I* est plus petit que ce qu'on en voit si la pupille est au <point> *E*, car on voit de *E* l'arc *FJKG* et de *I* l'arc *JK*. Mais l'angle *JIK* est plus grand que l'angle *FEG*, on croit donc dans la sensation que ce qu'on voit par la pupille qui est au <point> *I*, c'est-à-dire l'arc *JK*, est plus grand que ce qu'on voit de l'arc *AFGB* quand la pupille est en *E*. Mais puisque le plan élevé qui le touche au point *J* et le plan élevé qui le touche au point *K* – tels que leurs deux extrémités, les deux droites *JI* et *IK*, sont avec le cercle *AB* dans un même plan – sont tangents au cône suivant deux droites de la surface du cône dont l'une est menée de *J* à *D* et l'autre menée de *K* à *D*, alors ce qu'entourent les deux droites *JD* et *DK* et l'arc *JK* de la surface du cône est plus petit que ce qu'on voit à partir du point *E*, puisqu'il en est une partie et on croit qu'il est plus grand car, il est perçu sous l'angle *JIK* qui est plus grand que l'angle *FEG*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 31 – Pour tout cône cylindrique dont la base est un cercle, si on mène un diamètre, qu'on le prolonge ensuite, puis qu'on mène de l'extrémité de cette droite prolongée à partir du diamètre deux droites jusqu'au sommet, puis qu'on mène à partir de ces droites deux plans tangents au cône sur ses deux côtés jusqu'au sommet, alors, quelle que soit la position de l'œil sur la droite d'intersection des deux plans, si on mène le rayon visuel parallèlement au plan de la base du cône, il voit du cône toujours une même grandeur qui ne varie pas[68].

Exemple : Supposons le cône cylindrique le cône *BCD*, sa base le cercle *BC* de centre le point *A*, son sommet le point *D* et son diamètre *BAC*.

[68] Voir note complémentaire.

وزاوية ح ط كـ أعظم من زاوية ح ه ز؛ وكما بينا في الأساطين، فزاوية ي ط كـ أعظم من زاوية و ه ز، لأن نسبة الشيء <إلى الشيء> كنسبة ضعفه إلى ضعفه. فالذي يرى من ا و ز ب / بزاوية و ه ز قوس و ز، ٨٥ - ظ والذي يرى بزاوية ي ط كـ قوس ي كـ وي كـ بعض و ز، فالذي يرى إذا كان الناظر على طـ من قوس ا و ي كـ ز ب أقل مما يرى منها إذا كان الناظر على هـ، لأنه يرى من هـ قوس و ي كـ ز ومن طـ قوس ي كـ. وزاوية ي ط كـ أعظم من زاوية و ه ز، فيظنّ في الحسّ أن الذي يرى بالناظر وهو على طـ الذي هو قوس ي كـ، أعظم من الذي يرى وهو على هـ من قوس ا و ز ب. ولأن السطح المعتدل الذي يماسّه على علامة ي <والسطح المعتدل الذي يماسّه على علامة> كـ - ويكون نهايتاهما خطي ي ط ط كـ اللذين هما مع دائرة ا ب في سطح واحد - يماسان المخروط على خطين مستقيمين على سطح المخروط، أحدهما الخارج من ي إلى دـ والآخر الخارج من كـ إلى دـ، فما يحوز خطا ي د د كـ وقوس ي كـ من سطح المخروط أقلّ مما يرى من علامة هـ لأنه بعضه، ويظنّ أنه أعظم لأنه يحسّ بزاوية ي ط كـ التي هي أعظم من زاوية و ه ز؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- لا - كل مخروط أسطواني قاعدته دائرة، يخرج له قطرٌ، ثم يخرج على استقامة، ثم يخرج من طرف ذلك الخط المخرج من القطر خطان مستقيمان إلى ذروته، ثم يخرج من ذينك الخطين سطحان يماسان المخروط على جنبتيه إلى ذروته، فأي موضع وضع البصر من ذلك الخط المشترك للسطحين، وأخرج شعاع النظر موازيًا لسطح قاعدة المخروط، فإنه يرى من المخروط أبداً قدراً واحداً لايختلف.

مثال ذلك: أن نفرض المخروط الأسطواني مخروط ب جـ د وقاعدته دائرة ب جـ ومركزه علامة آ وذروته علامة دـ وقطره ب ا جـ، ونخرج خط

1 ح ط كـ: د ا ي - 5 ا و ي كـ ز ب: الواو ناقصة - 17 خطان: خط - 18 مستقيمان: مستقيم /ذينك الخطين: ذلك الخط - 19 ذروته: ذرويه - 22 ب جـ د: ا ب جـ د - 23 وذروته: وذرويه

Prolongeons la droite *BC* de *BC* jusqu'à *E*[69] et menons de *E* à *D* une droite ainsi que les deux plans menés à partir de la droite *ED* élevés et prolongés sur les deux côtés du cône qui sont *BD* et *CD*, les deux plans *EBD* et *ECD*[70].

Je dis que si nous posons l'œil en un point quelconque de la droite *DE* et que nous menons le rayon visuel jusqu'à la circonférence parallèlement
86r à la droite / *BE*[71], ce que nous voyons du cône *BCD* est toujours une même grandeur qui ne varie pas.

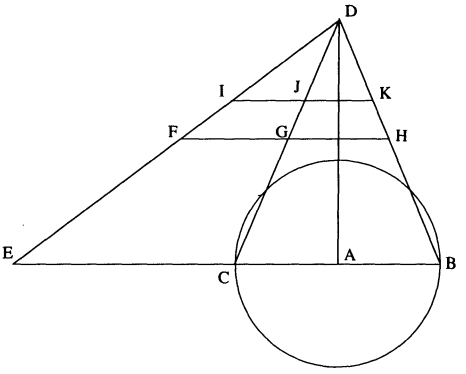


Fig. 31

Démonstration : Supposons le plan, le plan du cercle *ABC*, suivant lequel sort le rayon vers les deux côtés du cône, c'est-à-dire vers les deux droites *BD* et *CD*. Nous menons du point *F* de la droite *ED* un plan parallèle à la droite *BE*[72] ; soit le plan *GH*. Nous menons du point *I* de la droite *ED* un plan parallèle également à la droite *EB*[73] ; soit le plan *JIK*. Je dis que si on pose la pupille au point *F*, elle voit de la surface du cône *BCD*, ce qu'elle en voit si on la pose au point *I*, car l'angle engendré à partir des deux plans *BDE* et *CDE* tangents au cône *BCD*, est l'angle des deux plans[74] dont la droite d'intersection est la droite *DE*. Ainsi deux droites quelconques menées d'un point de la droite *DE* dans les deux plans *BDE* et *CDE* telles que le plan qu'elles forment[75] soit parallèle au plan du cercle *ABC*, c'est-à-dire dans le plan duquel il y a la droite *BE*[76], font des angles égaux. Mais les choses vues sous des angles égaux sont vues égales ;

---

69 Le diamètre passant par *E* n'intervient pas dans la démonstration.

70 Si *BC* était le diamètre passant par *E*, les droites *EB* et *EC* ne seraient pas tangentes au cercle et les plans *EDB* et *EBC* seraient confondus.

71 Plan parallèle à la droite *BE* et à la droite *CE*.

72 Voir note 71.

73 Voir note 71.

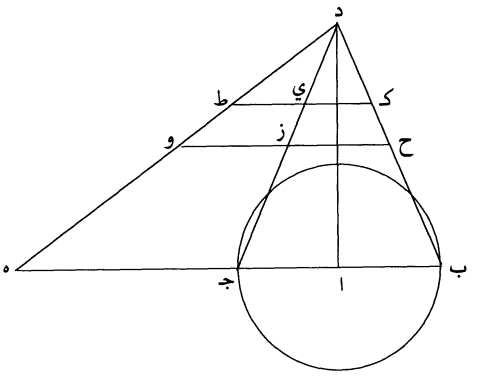
74 Litt. : l'angle plan.

75 Litt. : le plan intersection.

76 La droite *BE* et la droite *CE*.

ب جـ على استقامة من ب جـ إلى هـ، ونخرج من هـ إلى دَ خطًا مستقيمًا؛ والسطحان الخارجان من خط هـ دَ المعتدلان الخارجان إلى جنبتي المخروط اللتين هما ب دَ وجـ دَ سطحا هـ ب دَ وهـ جـ دَ.

فأقول: إنا إذا وضعنا البصر على أي نقطة اتفقت من خط دَ هـ وأخرجنا شعاع البصر إلى المحيط موازيًا لخط / ب هـ، كان الذي نرى من مخروط ٨٦ - و ب جـ دَ قدراً واحداً أبداً لا يختلف.



برهان ذلك: أن نفرض السطح <سطح دائرة ا ب جـ> الخارج عليه الشعاع إلى جنبتي المخروط، أعني إلى خطي ب دَ جـ دَ، ونخرج من علامة وَ من خط هـ دَ سطحًا موازيًا لخط ب هـ، وهو سطح ز ح، ونخرج من علامة طَ من خط هـ دَ سطحًا موازيًا أيضًا لخط هـ ب، وهو سطح ي ط كـ. فأقول إن الناظر إذا وضع على علامة وَ، رأى من سطح مخروط ب جـ دَ مثل ما يرى منه إذا وضع على علامة طَ، لأن الزاوية الحادثة من سطحي ب د هـ جـ د هـ المماسين لمخروط ب جـ دَ هي الزاوية السطحية التي خطها المشترك خط دَ هـ. فكل خطين يخرجان من نقطة من خط دَ هـ في سطحي ب د هـ جـ د هـ، فيكون السطح المشترك لهما موازيًا لسطح دائرة ا ب جـ، أعني التي في سطحها خط ب هـ، فإنهما يفعلان زوايا متساوية. والتي بزوايا متساوية ترى متساوية، فإذاً الذي يرى من

6 ب جـ دَ: ا ب جـ د/ قدراً: قدرنا - 12 ب جـ دَ: ا ب جـ د - 13 ب جـ دَ: ا ب جـ د.

par conséquent ce qu'on voit du cône *BCD* à partir des points *F* et *I* suivant les directions des deux plans *GFH* et *JIK* est vu égal. Ce qu'il fallait démontrer[77].

– 32 – Pour tout cône cylindrique dont la base est un cercle, si la pupille le regarde à partir de distances égales de sa surface, et si elle le regarde d'une position plus haute, elle en voit plus que quand elle le regarde d'une position plus basse, tandis qu'on croit en voir plus à partir d'une position plus basse.

Exemple : Supposons que le cône est le cône *ABCD*, supposons *C* son sommet et *AB* le diamètre du cercle de sa base, prolongeons la droite *AB* à partir du point *B* jusqu'au point *K*, menons de *E* sur la droite *AK* une droite jusqu'à *F* sur la droite *CK* et supposons la droite *EF* parallèle à la droite *BC*. Les distances des points qui se trouvent sur la droite *EF* par rapport à la droite *BC*, si elles sont parallèles à la droite *KA*, sont égales,
86v car les deux droites *CB* et *EF* sont parallèles et la droite *KC* menée / à partir <d'un point> de la base du cône à son sommet est dans le même plan que la droite *EF*.

Je dis que si la pupille est au <point> *F*, elle voit du cône *ABC* plus que ce qu'elle en voit si elle est au point *H* sur la droite *EF* et cependant si elle est en *H*, il lui semblera en voir plus.

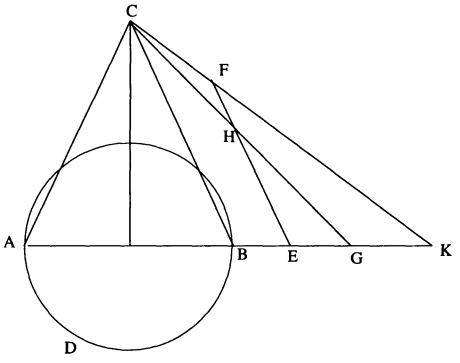


Fig. 32

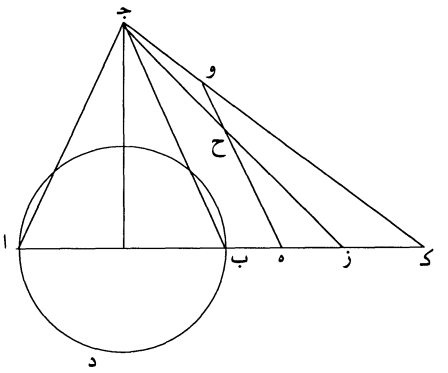
[77] Voir note complémentaire.

مخروط ب جـ د من علامتي وَ طَ على سمت سطحي ز و ح ي ط كـ يرى متساويًا؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– لَب – كل مخروط أسطواني قاعدته دائرة، فإن الناظر إذا نظر إليه بأبعاد متساوية من سطحه، فإنه إذا نظر من موضع أعلى، رأى منه
5 <أكثر> إذا نظر من موضع أهبط، ويظنّ أن الذي يرى منه من موضع أهبط أكثر.

مثال ذلك: أن نفرض المخروط مخروط ا ب جـ د، ونفرض جَ ذروته وا ب قطر دائرة قاعدته، ونخرج خط ا ب من علامة بَ على استقامة إلى علامة كَ، ونخرج من هَ من خط ا كَ خطًا مستقيمًا إلى وَ من خط جـ كَ،
10 ونفرض خط هَ وَ موازيًا خط ب جـ. فأبعاد العلامات التي تقع على خط هَ وَ من خط ب جـ، إذا كانت موازية لخط كَ ا، متساوية، لأن خطي جـ ب هَ وَ متوازيان وكَ جَ خط خارج / من قاعدة المخروط إلى ذروته مع خط ٨٦-ظ
هَ وَ في سطح واحد.

فأقول إن الناظر إذا كان على وَ، رأى من مخروط ا ب جـ أكثر مما يرى
15 إذا كان على علامة حَ من خط هَ وَ؛ إلا أنه إذا كان على حَ، يظنّ أن الذي يرى منه أعظم.



1 ب جـ د: ا ب جـ د – 12 متوازيان: متوان / ذروته: ذروية.

Démonstration : Menons de *C* une droite jusqu'à *H*, prolongée jusqu'au point *G* sur la droite *EK*. Les deux points *H* et *C* sont vus à partir du point *G* car ils sont sur une même droite ; les deux points *F* et *C* sont vus à partir du point *K*, car ils sont sur une même droite ; les angles engendrés sur la droite *CK*[78] sont tous égaux et ceux qui sont engendrés sur la droite *CG*[79] sont tous égaux comme nous l'avons montré dans la proposition précédente ; mais ce qu'on voit du cône *ABC* à partir du point *K* est plus grand que ce qu'on en voit à partir du point *G*, car *G* est plus proche du cône, comme nous l'avons montré en d'autres endroits dans les propositions de ce livre[80]. Mais les choses vues sous des angles égaux sont vues égales, par conséquent ce qu'on voit du cône *ABC* à partir du point *F* est comme ce qu'on en voit à partir du point *K*, car ils sont vus sous des angles égaux. Mais ce qu'on en voit à partir du point *H* est égal à ce qu'on en voit à partir du point *G*, car ils sont vus sous des angles égaux ; par conséquent ce qu'on en voit à partir du point *F* est plus grand que ce qu'on en voit à partir du point *H*. Mais on croit alors que ce qu'on en voit à partir du point *H* est plus grand dans la sensation, car il est vu égal à ce qu'on en voit à partir de *G* qui est plus proche que *K* du cône, et on voit à partir de *K* ce qu'on en voit à partir de *F*. Ainsi ce qu'on en voit à partir de *F* est plus grand que ce qu'on en voit à partir de *H*, en réalité, et on croit que ce qu'on voit à partir de *H*, qui est au-dessous de *F*, est plus grand dans la sensation. Ce qu'il fallait démontrer.

– 33 – Pour tout cercle sur le centre duquel on élève une perpendiculaire, si la pupille regarde à partir de son extrémité vers le cercle, elle voit ses diamètres égaux.

87r *Exemple* : Supposons / que le cercle est le cercle *ABCD* ; supposons *A* et *C* les extrémités de l'un de ses diamètres, *B* et *D* les extrémités de l'un de ses diamètres, *E* le centre du cercle là où les diamètres se coupent, et supposons la droite *EF* perpendiculaire au plan du cercle *ABCD* en son centre.

Je dis que les diamètres sont vus égaux par la pupille qui est au point *F*, c'est-à-dire que *AC* sera vu égal à *BD*.

---

[78] C'est-à-dire engendrés à partir des points de la droite *CK*.

[79] C'est-à-dire engendrés à partir des points de la droite *CG*.

[80] Voir prop. 25 pour la sphère, par exemple.

برهان ذلك: أن نخرج من جـ خطًا مستقيمًا إلى حـ ممتدًا على استقامة إلى علامة زَ من خط هـ كـ، فعلامتا حـ وجـ تريان من علامة زَ، لأنهما على خط واحد مستقيم؛ وعلامتا وَ جـ تريان من علامة كـ، لأنهما على خط ‹واحد› مستقيم، والزوايا التي تحدث على خط جـ كـ كلها متساوية، والتي تحدث على خط جـ زَ كلها متساوية، كما بينا في الشكل الذي قبل هذا؛ والذي يرى من مخروط ا ب جـ من علامة كـ أعظم من الذي يرى منه من علامة زَ، لأن زَ أقرب إلى المخروط، كما بينا في غير هذا الموضع من أشكال هذا الكتاب. والتي ترى بزوايا متساوية ترى متساوية، فإذاً الذي يرى من مخروط ا ب جـ من علامة وَ مثل الذي يرى منه من علامة كـ، لأنهما يريان بزوايا متساوية. والذي يرى منه من علامة حـ مساوٍ للذي ‹يرى› منه من علامة زَ، لأنهما يريان منهما بزوايا متساوية، فإذاً الذي يرى من علامة وَ أعظم من الذي يرى منه من علامة حـ. ويظنّ أن الذي ‹يرى› من علامة حـ في الحسّ أعظم، لأنه يرى مساويًا لما يرى من زَ التي هي أقرب إلى المخروط من كـ، وكـ يرى منها مثل ما يرى من وَ. فالذي يرى منه من وَ أعظم من الذي يرى منه من حـ بالحقيقة، ويظنّ أن الذي يرى منه من حـ التي هي أسفل من وَ أعظم في الحس؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– جـ – كل دائرة يقوم على مركزها عمودٌ، فإن الناظر إذا نظر من طرفه إلى الدائرة، رأى أقطارها متساوية.

مثال ذلك: أن نفرض / الدائرة دائرة ا ب جـ د ونفرض ا جـ نهايتي ٨٧ - و قطر من أقطارها وب دَ نهايتي قطر من أقطارها، وهَ مركز الدائرة وحيث تقاطع الأقطار، ونفرض خط هـ وَ عمودًا على سطح دائرة ا ب جـ د على مركزها.

فأقول: إن الأقطار ترى بالناظر الذي على علامة وَ متساوية، أعني أن ا جـ يرى مساويًا لـ ب د.

8 والتي: المقصود هو الأشياء – 10 يريان: يريانه – 14 منها: منهما.

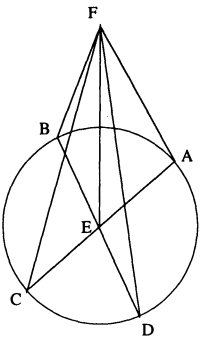
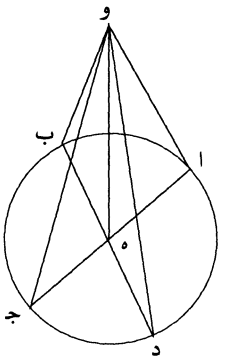


Fig. 33

Démonstration : Menons de *A*, de *B*, de *C* et de *D* des droites jusqu'au point *F*, la droite *EF* est donc commune aux triangles *DFE, EFB, EFC* et *EFA*, *AE, EB, EC* et *ED* sont égales et *EF* est perpendiculaire en *E*, donc les angles *FED, FEA, FEB* et *FEC* sont égaux et droits, donc les droites *AF, FB, FC, FD* qui sont interceptées par ces angles sont égales, par conséquent les angles de chacun des triangles *DFE, EFB, FCE* et *EFA* sont égaux, chacun à son homologue, et les angles *FDE, EAF, EBF* et *ECF* sont égaux ; de même les angles *DFE, AFE, BFE* et *CFE* sont égaux, de même <la somme de> chaque paire d'entre eux est égale à <la somme de> chaque paire d'entre eux. Par conséquent les angles *DFE* et *EFB* qui donnent l'angle *DFB*, sont égaux aux angles *AFE* et *EFC* qui donnent l'angle *AFC* ; par conséquent l'angle *DFB* qui intercepte le diamètre *BD* est égal à l'angle *AFC* qui intercepte le diamètre *AC*. Mais les choses vues sous des angles égaux sont vues égales, par conséquent ce qu'on voit sous l'angle *BFD* est <toujours> vu égal à *AC* qui est vu sous l'angle *AFC*, et par conséquent les diamètres *AC* et *BD* sont vus égaux à partir du point *F*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 34 – Pour tout cercle, si on élève en son centre une droite sans qu'elle soit perpendiculaire en ce centre, mais à condition qu'elle soit égale à son demi-diamètre, alors si la pupille regarde à partir de son extrémité, elle voit aussi ses diamètres égaux.



برهان ذلك: أن نخرج من آ ومن بَ ومن جـ ومن دَ خطوطاً مستقيمة إلى علامة وَ، فخط ه وَ مشترك في <مثلثات د و ه ه و ب ه و جـ ه و ا و>آ ه ب ه جـ ه د متساوية وه وَ عمود على هَ، فزوايا و ه د و ه آ و ه ب و ه جـ متساوية قائمة، فخطوط آ و ب و جـ و د التي توتر تلك الزوايا متساوية؛ فإذاً زوايا كل واحد من مثلثات د و ه ه و ب و جـ ه ه و ا متساوية، كل واحدة لنظيرتها، <وزوايا> و د ه ه آ و ه ب و ه جـ و متساوية، وأيضًا زوايا د و ه آ و ه ب و ه جـ و ه متساوية، وأيضًا كل اثنتين منها مساوية لكل اثنتين منها. فإذاً زاويتا د و ه ه و ب اللتان هما زاوية د و ب مساويتان لزاويتي آ و ه ه و جـ اللتين هما زاوية آ و جـ، فإذاً زاوية د و ب التي يوترها قطر ب د مساوية لزاوية آ و جـ التي يوترها قطر آ جـ. والتي ترى بزوايا متساوية ترى متساوية، فإذاً ب د الذي يرى بزاوية ب و د مساوٍ لـ آ جـ الذي <يرى> بزاوية آ و جـ، فإذاً قطرا آ جـ ب د يريان من علامةٍ وَ متساويين؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– لَد – كل دائرة يقام على مركزها خطٌّ من غير أن يكون عموداً على مركزها، إلا أنه مساوٍ لنصف قطرها، فإن الناظر إذا نظر من طرفه، رأى أقطارها أيضًا متساوية.

3 فزويا: فزويا – 4 وَب: د ب – 5 و جـ ه: ه و جـ – 6 ه آ و ه ب و ه و آ: و ا ه و ب ه و جـ ه – 8 مساوية: متساوية / اللتان: اللتين – 10 د و ب: جـ و ب – 12 مساوٍ: مساوي – 13 علامة: علامتي / متساويين: متساويان / نبين: يتبين – 14 يكون: كون – 15 فإن: فاان.

Exemple : On suppose que le cercle est le cercle *ABCD* dont les deux diamètres sont *AC* et *BD* ; son centre sur lequel se sont coupés les diamètres est le point *E*, et la droite élevée est *EF* – mais elle n'est pas perpendiculaire au plan *ABCD* ; et on suppose *EF* égale au demi-diamètre du cercle, c'est-à-dire égale à *AE*.

87v Je dis / que les deux diamètres *AC* et *BD* sont vus égaux.

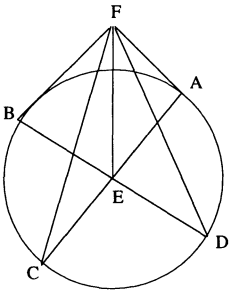


Fig. 34

Démonstration : Si on incline vers *F* de la droite *EF* le demi-cercle qui se trouve sur la droite *AC* de sorte qu'il le touche, si on mène de *A* et de *C* jusqu'à *F* deux droites, comme les deux droites *AF* et *FC* dans le demi-cercle <*AFC*>, alors l'angle *AFC* est droit. De même, si on incline vers le point *F* le demi-cercle qui se trouve sur le diamètre *BD* de sorte qu'il le touche, alors si on mène de *B* et de *D* deux droites jusqu'à *F*, comme la droite *BF* et la droite *DF*, alors l'angle *BFD* est droit, car il est dans un demi-cercle. Par conséquent, la pupille regarde le diamètre *AC* sous un angle droit, soit l'angle *AFC,* et le diamètre *BD* sous un angle droit, soit l'angle *BFD* ; par conséquent, la pupille regarde *AC* et *BD* sous des angles égaux, elle voit donc *AC* égal à *BD*. Ce qu'il fallait démontrer.

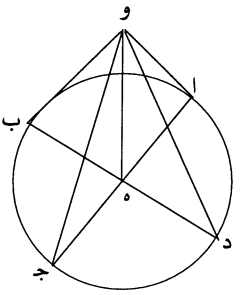
Ce sont là les propositions dans lesquelles on voit les diamètres des cercles, égaux conformément à leur nature ; quant aux cercles dont on voit les diamètres tous inégaux[81] par nature, ce sont ceux qui diffèrent de cela[82].

[81] Voir note complémentaire.

[82] C'est-à-dire des cas précédents.

مثال ذلك: أن يفرض الدائرة دائرة ا ب جـ د وقطراها ا جـ ب د ومركزها الذي تقاطعت عليه الأقطار علامة هـ، والخط القائم هـ و، وليس بعمود على سطح ا ب جـ د، ويفرض هـ و مساوياً لنصف قطر الدائرة، أعني مثل ا هـ.

5 فأقول / إن قطري ا جـ ب د يريان متساويين. ٨٧-ظ



برهان ذلك: أن نصف الدائرة الواقع على خط ا جـ إذا أميل إلى وَ من خط هـ و ماسها، فإذا أخرج من آ ومن جـ إلى وَ خطان مستقيمان كخطي ا و و جـ وفي نصف الدائرة، فإن زاوية ا و جـ قائمة. وكذلك النصف دائرة الواقع على قطر ب د إذا أميل إلى علامة وَ ماسها، فإذا أخرج من ب ومن
10 دَ خطان إلى وَ، كخط ب و وخط د و، فإن زاوية ب و د قائمة، لأنها <وقعت> في نصف دائرة. فإذاً الناظر ينظر إلى قطر ا جـ بزاوية قائمة، هي زاوية ا و جـ، وإلى قطر ب د بزاوية قائمة، وهي زاوية ب و د، فإذاً الناظر ينظر إلى ا جـ وب د بزوايا متساوية، فهو يرى ا جـ مساوياً لـ ب د؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

15 فهذه هي الأشكال التي تُري أقطار الدوائر متساوية على طبعها؛ وأما ما تري أقطارها مختلفة جميعًا بالطبع، فكل ما خالف ذلك.

3 لنصف: لضعف – 5 متساويين: متساويتين – 7 خطان مستقيمان: خطين مستقيمين / كخطي: لخطي – 8 و جـ: هـ جـ / نصف: النصف – 10 خطان: خطين / وَ: د – 12 وإلى: والتي.

Mentionnons les propositions qu'Euclide a mentionnées et montrons-les de la manière la plus claire possible, si Dieu le veut. Il y a en effet apporté des choses particulières et accidentelles dont il pouvait se dispenser, par une seule proposition à l'aide de laquelle on peut comprendre que tout ce qui est différent de ceux-ci[83] est vu différent selon la condition qu'il a d'abord introduite en regardant le cercle à partir de l'extrémité de la perpendiculaire en son centre[84]. En effet, s'il se présentait à lui des propositions, autres que les deux propositions précédentes, à partir desquelles on voit certains diamètres du cercle égaux, celles dans lesquelles des diamètres sont vus inégaux ne peuvent pas être obtenues à partir de sa première condition, car sa première condition dans les deux propositions précédentes est de voir les diamètres du cercle égaux, selon l'affirmation générale qui englobe tous ses diamètres, à partir de l'extrémité de la perpendiculaire en son centre.

Parmi les propositions qu'il a mentionnées dans cette perspective :

88r – 35 – Pour tout cercle / regardé à partir d'un point sur la hauteur d'une droite menée de ce point au centre du cercle, laquelle n'est pas égale au demi-diamètre, et ne coupe pas les diamètres, qui se coupent en son centre, suivant des angles droits, mais suivant des <angles> différents, et sans que les deux angles obtus[85] – formés par la droite menée de l'œil au centre du cercle et qui partage les deux diamètres qui se coupent à l'opposé de l'inclinaison de la droite menée de l'œil au centre du cercle – soient égaux, et sans que non plus les deux angles – formés par la droite menée de l'œil au centre du cercle et qui partage en deux moitiés les deux diamètres qui restent dans la direction de l'inclinaison de la droite menée de l'œil au centre du cercle – soient égaux, mais différents, alors ces deux diamètres sont toujours vus différents et parmi les diamètres, ceux dont la condition est cette condition relative à l'inégalité des angles formés par leurs moitiés et la droite menée de l'œil au centre du cercle, ne seront pas vus égaux ; et parmi les diamètres, ceux dont les angles qui sont dans une direction différente de l'inclinaison de la droite menée de l'œil au centre du cercle sont égaux, sont vus égaux, et ceux dont les angles sont égaux dans la direction de son inclinaison, sont vus égaux.

Exemple : Supposons que le cercle est le cercle *ABCD*, supposons *AC* un diamètre et *DB* un diamètre, *E* le centre du cercle et la position de

[83] C'est-à-dire des cas où les diamètres sont vus égaux.
[84] C'est-à-dire suivant que cette condition est vérifiée ou non.
[85] Litt. : grands.

ونذكر الأشكال التي ذكرها أوقليدس ونبينها على أوضح ما يمكن فيها، إن شاء الله، فإنه أتى فيها بأشياء جزئية عرضية كان عنها غنيًا بشكل واحد يفهم به أن كل ما خالف هذه رئي مختلفًا على الشريطة التي قدم أوّلاً من النظر إلى الدائرة من طرف عمود على مركزها. وهو وإن كان عرض له أشكال غير الشكلين المتقدمين يرى منها بعض أقطار الدائرة متساوية، وما فيها غير متساوية، فإن ذلك غير مخرج من شرطه الأول لأن شرطه الأول في الشكلين المتقدمين أن ترى أقطار الدائرة، بالقول المطلق الداخل فيه جميع أقطارها من طرف العمود القائم على مركزها، متساوية.

<و>من الأشكال التي ذكر في هذا المنظر:

– لَه – إن كل دائرة / نظر إليها من علامة في علوّ الخط المستقيم الخارج من تلك العلامة إلى مركزها غير مساوٍ لنصف قطر الدائرة، ولا الأقطار المتقاطعة على مركزها يقاطع على زوايا قائمة، بل على مختلفة، ولا الزاويتان العظيمتان – اللتان تحدثان من الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركز الدائرة ونصفي القطرين المتقاطعين اللذين في ضد ميل الخط الخارج من البصر إلى مركز الدائرة – متساويتان، ولا الزاويتان – اللتان تحدثان من الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركز الدائرة ونصفي القطرين الباقيين اللذين في جهة ميل الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركز الدائرة – متساويتان أيضًا بل مختلفتان، فإن هذين القطرين يريان أبداً مختلفين. وكل ما كان من أقطارها شريطته في اختلاف الزوايا الحادثة بأنصافها والخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركز الدائرة هذه الشريطة لم تر متساوية. وما كان من الأقطار زواياه التي في خلاف جهة ميل الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركز الدائرة متساوية <ترى متساوية>، والتي في جهة ميله متساوية، فإن تلك الأقطار ترى متساوية. ٨٨-و

مثال ذلك: أن نفرض الدائرة دائرة ا ب جـ د، ونفرض ا جـ القطر ود ب القطر ومركز الدائرة هَ، وموضع البصر علامة وَ، ونخرج خط و ب

1 أوضح: اوضع – 2 فإنه: فاانه / غنيًا: عيبا – 4 قدم: قدام – 15 مركز: مر / ونصفي: ويصفى / المتقاطعين: المقاطعين – 18 ونصفي: ويصفى / اللذين: اللذان – 19 مركز: مر – 25 ترى: ير – 27 و ب: د ب.

l'œil le point *F* ; menons la droite *FB*, la droite *FC*, la droite *FA* et la droite *FD* ; supposons l'angle *FEC* égal à l'angle *FED*, tous deux <dans une direction> différente de l'inclinaison de *F*. Nous supposons aussi égaux les deux angles *FEB* et *FEA*[86] qui sont dans la direction de l'inclinaison de *F*. Nous supposons la droite *EF* non perpendiculaire en *E*, mais <le pied> de la perpendiculaire menée de *F* se trouve dans le cercle ou dans le plan dans lequel se trouve la surface du cercle du côté de *AB* ; nous supposons *EF* différent du demi-diamètre du cercle qui est *AE, EB, EC* ou *ED*.

Je dis que les deux droites *AC* et *BD* sont vues égales à partir du point *F*.

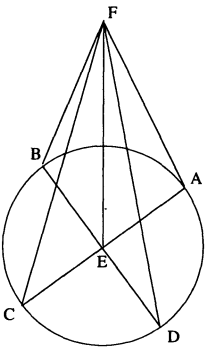


Fig. 35

Démonstration : L'angle *FEC* est égal à l'angle *FED*, la droite *EC* est égale à la droite *ED* et *FE* est commune, donc la droite *DF* est égale à la droite *FC* et les triangles *FCE* et *FDE* sont égaux et semblables, donc
88v chaque angle de l'un est égal à son homologue de l'autre, / donc l'angle *EFD* est égal à l'angle *EFC*. De même, l'angle *FEB* est égal à l'angle *FEA,* comme nous l'avons supposé ; les deux droites *BE* et *AE* sont égales et la droite *EF* est commune, donc les deux droites *FB* et *FA* sont égales et les deux triangles *BFE* et *AFE* sont égaux et semblables, donc chaque angle de l'un est égal à son homologue de l'autre, donc les deux angles *BFE* et *AFE* sont égaux ; par conséquent les deux angles *BFE* et *EFD* réunis sont égaux aux deux angles *AFE* et *EFC* réunis ; mais la droite *AC* est vue sous l'angle *AFC* et la droite *BD* est vue sous l'angle *BFD*, deux <angles> égaux ; par conséquent les deux droites *AC* et *BD* sont vues égales. Ce qu'il fallait démontrer[87].

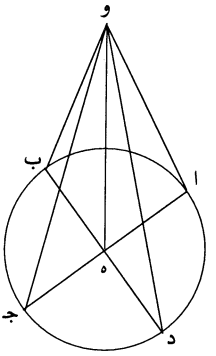
---

[86] L'hypothèse $\angle FEC = \angle FED$ entraîne $\angle FEA = \angle FEB$.

[87] Voir note complémentaire.

وخط و جـ وخط و آ وخط و د مستقيمة، ونفرض زاوية و ه جـ مساوية زاوية و ه د المخالفتين لميل وَ، ونفرض زاويتي و ه ب و ه آ أيضًا متساويتين اللتين في جهة ميل وَ، ونفرض خط ه وَ ليس بعمود على هَ، بل يقع العمود الخارج من وَ في الدائرة أو في السطح الذي فيه سطح الدائرة في جهة آ ب، ونفرض ه و غير مساوٍ لنصف <قطر> الدائرة الذي هو آ ه وه ب وه جـ وه د.

فأقول: إن خطي آ جـ وب د يريان من علامة وَ متساويين.



برهان ذلك: أن زاوية و ه جـ مثل زاوية و ه د وخط ه جـ مثل خط ه د، وو ه مشترك، فخط د و مثل خط و جـ، ومثلثا و جـ ه و د ه متساويان متشابهان، فكل زاوية من أحدهما مساوية نظيرتها من الآخر، فزاوية ه و د مساوية زاوية ه و جـ. وأيضًا زاوية و ه ب مساوية <زاوية> و ه آ كما فرضنا، وخطا ب ه آ ه متساويان، وخط ه و مشترك، فخطا و ب و آ متساويان، ومثلثا ب و ه آ و ه متساويان متشابهان، فكل زاوية من أحدهما مساوية نظيرتها من الآخر، فزاويتا ب و ه آ و ه متساويتان؛ فإذاً زاويتا ب و ه ه و د جميعًا مثل زاويتي آ و ه ه و جـ جميعًا، وخط آ جـ يرى بزاوية آ و جـ وخط ب د يرى بزاوية ب و د المتساويتين؛ فإذاً خطا آ جـ ب د يريان متساويين؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

88-ظ /

1 و جـ: د جـ – 9 ومثلثا: ومثلثان / و د ه: و د – 10 فكل: وكل – 13 ب و ه آ و ه: ب ه و ا ه و – 17 يريان: يريان من.

Dès lors, nous montrons que si les deux angles *FEC* et *FED* qui sont dans une direction différente de l'inclinaison de *F* ne sont pas égaux et que les deux angles *BEF* et *AEF* ne sont pas non plus égaux[88], et si l'excédent de l'angle *BEF* sur l'angle *AEF* ou son défaut par rapport à lui n'est pas égal à l'excédent de l'angle *CEF* sur l'angle *DEF*[89] ou à son défaut par rapport à lui, afin que les deux angles *BFD* et *AFC* ne soient pas égaux, alors les deux diamètres *AC* et *BD* ne seront pas vus égaux. Ce qu'il fallait démontrer[90].

– 36 – <a> Traçons également pour cela un cercle dont le centre est supposé le point *A* ; la position de l'œil est le point *B*. Supposons que la perpendiculaire menée du point *B* qui est la pupille ne tombe pas en *A* qui est le centre du cercle, mais que <son pied> lui est extérieur en *C* sur le plan du cercle ; soit la droite *BC*. Menons la droite *AC* et la droite *AB*.

Je dis que l'angle *CAB* est le plus petit de tous les angles entourés par les droites qui passent par le point *A* dans le plan du cercle et la droite *AB*. Menons la droite *DE* telle qu'elle coupe le cercle et passe par le point *A*, mais ne passe pas par le point *C*. Supposons les deux points *D* et *E* sur la circonférence du cercle, la droite *DAE* est donc un diamètre du cercle. Menons une perpendiculaire de *C* en *G* à la droite *AE* et menons la droite
89r *BG, CG* étant perpendiculaire à *DE* ; alors l'angle *CGA* est droit, / l'angle *ACB* est droit et il intercepte la droite *AB* ; alors celle-ci peut les deux droites *BC*, *CA* ensemble ; mais l'angle *BCG* est droit et intercepte la droite *BG,* donc celle-ci peut les droites *BC*, *CG* ensemble ; le plan du triangle *BCG* est perpendiculaire à la droite *EG*[91], donc la droite *BG* coupe la droite *AE* suivant des angles droits ; l'angle *BGA* est donc droit et intercepte la droite *AB*, celle-ci peut les droites *BG*, *GA* ensemble. Mais la droite *AB* peut aussi les droites *BC*, *CA*, et l'angle *BCG* est droit et intercepte la droite *BG*, celle-ci est donc plus longue que la droite *BC*, la droite *AB* est donc interceptée par les deux angles droits *BCA* et *BGA* et la perpendiculaire *BG* est plus longue que la perpendiculaire *BC*. Par conséquent la base *AG* est plus petite que la base *AC* ; mais les deux angles *CBA* et *BAC* sont égaux à un droit, de même les deux angles *GBA* et *GAB* réunis dans le triangle *ABG* sont égaux à un angle droit ; mais on a montré que la base *AC* est plus grande que la base *AG* et que le plus grand côté dans tout triangle est intercepté par son plus grand angle[92], par

---

[88] L'hypothèse $\angle FEC \neq \angle FED$ entraîne $\angle FEA \neq \angle FEB$.

[89] $\angle FEA$ et $\angle FEB$ sont les suppléments respectifs de $\angle FEC$ et $\angle FED$, donc $|\angle FEC - \angle FED| = |\angle FEA - \angle FEB|$.

[90] Le résultat est annoncé ici, mais la démonstration est faite dans les propositions 36 et 37

[91] On a $BC \perp$ plan (AGC), donc plan $(BCG) \perp$ plan (ACG), ces deux plans ont pour intersection CG, or $AG \perp CG$, donc $AG \perp$ plan (BCG).

[92] Sous cette forme, cet énoncé s'applique aux angles et aux côtés d'un seul triangle. Ici les données correspondent à deux triangles différents.

وهنالك نبين أن زاويتي و ه جـ و ه د اللتين في خلاف جهة ميل وَ إن لم تكونا متساويتين وزاويتي ب ه و ا ه و أيضًا لم تكونا متساويتين ولم يكن زيادة أو نقصان زاوية ب ه و على زاوية ا ه و مساوية لزيادة أو نقصان زاوية جـ ه و على زاوية د ه و، حتى <لا> تتساوى زاويتا ب و د ا و جـ، فإن قطري ا جـ ب د لا يريان متساويين؛ وهو ما أردنا أن نبين.

– لو – ونخط أيضًا لذلك دائرة نفرض مركزها علامة آ وموضع البصر نقطة ب، ونفرض العمود الذي يخرج من علامة ب التي هي الناظر لا يقع على آ التي هي مركز الدائرة، ولكن خارجًا منها على جـ من سطح الدائرة كخط ب جـ. ونخرج خط ا جـ مستقيمًا وخط ا ب مستقيمًا.

فأقول: إن زاوية جـ ا ب أصغر من جميع الزوايا التي تحصرها الخطوط التي تمرّ على نقطة آ في سطح الدائرة مع خط ا ب. فنخرج خط د ه يقطع الدائرة ويمر على علامة آ، ولا يمرّ على علامة جـ. ونفرض علامتي د ه من محيط الدائرة، فخط د ا ه قطر الدائرة. ونخرج عموداً من جـ إلى ز من خط ا ه، ونخرج خط ب ز مستقيمًا، فـ جـ ز عمود على د ه، فزاوية جـ ز ا قائمة / وزاوية ا جـ ب قائمة، وخط ا ب يوترها، فهو يقوى على ٨٩-و خطي ب جـ جـ ا جميعًا؛ وزاوية ب جـ ز قائمة وخط ب ز يوترها، فهو يقوى على خطي ب جـ جـ ز <جميعًا>؛ فسطح مثلث ب جـ ز قائم على خط ه ز، فخط ب ز يقطع خط ا ه على زوايا قائمة، فزاوية ب ز ا قائمة، وخط ا ب يوترها، فهو يقوى على خطي ب ز ز ا جميعًا. وقد كان خط ا ب أيضًا يقوى على خطي ب جـ جـ ا، وزاوية ب جـ ز قائمة وخط ب ز يوترها، فهو أطول من خط ب جـ، فخط ا ب يوتر زاويتي ب جـ ا ب ز ا القائمتين، وعمود ب ز أطول من عمود ب جـ. فإذاً قاعدة ا ز أصغر من قاعدة ا جـ، وزاويتا جـ ب ا وب ا جـ معادلتان لقائمة، وكذلك زاويتا ز ب ا ز ا ب جميعًا من مثلث ا ب ز معادلتان لزاوية قائمة. وقد تبين أن قاعدة ا جـ أعظم من قاعدة ا ز، والضلع الأعظم من كل مثلث يوتر زاويته

4 تتساوى: متساوا – 5 أردنا: والصحيح «نريد»، لأنه سيبرهن عليها فيما يتلو – 15 من هنا إلى ورقة ٩٦-ظ، كتبت المخطوطة بالخط الأول / وخط: فخط – 18 ه ز: جـ ز – 21 ب ز ا: جـ ر ا.

conséquent le rapport de l'angle *CBA* dans le triangle *ACB* à son angle droit est plus grand que le rapport de l'angle *ABG* du triangle *ABG* à son angle droit[93], par conséquent le rapport de l'angle qui reste du triangle *ABC*, complément <de *ABC*> à son angle droit, et qui est l'angle *BAC*, à son angle droit, est plus petit que le rapport de l'angle *BAG* qui reste du triangle *BAG*, complément <de *ABG*> par rapport à <l'angle> droit, à son angle droit ; mais tous les angles droits formés par des droites sont égaux, par conséquent l'angle *BAC* est plus petit que l'angle *BAG*. Ce qu'il fallait démontrer[94].

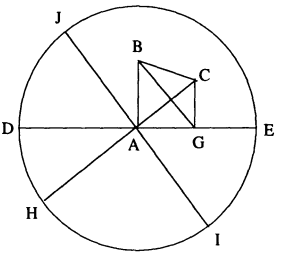


Fig. 36

Par ce procédé on a montré que l'angle *BAC* est plus petit que tout angle formé par la droite *BA* et une droite passant par le point *A* dans le plan du cercle. Ce qu'il fallait démontrer.

<b> Dès lors on montre que, à mesure que la droite qui coupe le cercle en son centre et qui forme avec la droite *AB* un angle, s'éloigne de la droite menée de l'œil au centre du cercle, cet angle s'élargit jusqu'à ce que cette droite devienne perpendiculaire, au point *A*, à la droite *CAH* – *H* étant supposé sur la circonférence du cercle – comme la droite *AI*, alors l'angle *BAI* sera droit car la droite *BA* et la droite *CAH* sont dans un même plan et que *IA* lui est perpendiculaire ; si celle-ci[95] va au delà vers le point *H*, l'angle devient obtus et à mesure qu'elle s'approche de *H*,

---

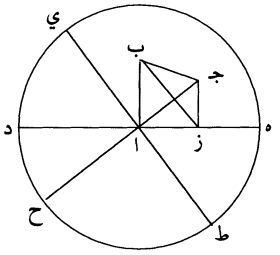
[93] Telle qu'elle est écrite, cette phrase n'a pas de sens et le texte a très probablement été altéré. Al-Kindî voulait-il dire que le rapport de *AC* intercepté par l'angle *CBA* dans le triangle *ABC*, à *AB* interceptée par son angle droit, est plus grand que le rapport de *AG* intercepté par l'angle *ABG* du triangle *ABG* à *AB* intercepté par son angle droit ?

C'est peut-être à cause de cette ambiguïté qu'un lecteur ancien a mis une glose en marge du manuscrit.

[94] On trouve en marge du folio 89^{r} : "puisque *AB* est interceptée par deux angles droits, c'est donc un diamètre du cercle dans lequel il se trouve entre les deux droits, l'un des arcs <litt. : circonférences> de l'un des deux droits est plus grand que l'un des arcs <litt. : circonférences> de l'autre droit ; l'autre est plus petit, comme il a été montré pour les cordes des cercles, et puisque le carré de *AB* est égal aux deux carrés des côtés qui entourent les droits dans les deux triangles". Voir note complémentaire.

[95] La droite *AI* a été définie comme perpendiculaire en *A* à la droite *CAH*, elle est considérée maintenant comme tournant autour de *A*. La même chose se produit plus loin pour *AJ*, prolongement de *AI*.

العظمى، فإذاً نسبة زاوية جـ ب آ من مثلث آ جـ ب إلى زاويته القائمة أعظم من نسبة زاوية آ ب ز من مثلث آ ب ز إلى زاويته القائمة؛ فإذاً نسبة زاوية مثلث آ ب جـ الباقية المتممة لزاويته القائمة التي هي زاوية ب آ جـ إلى زاويته القائمة أصغر من نسبة زاوية ب آ ز الباقية من مثلث ب آ ز المتممة للقائمة إلى زاويته القائمة، وكل الزوايا القائمة التي من خطوط مستقيمة فهي متساوية، فإذاً زاوية ب آ جـ أصغر من زاوية ب آ ز؛ وهو ما أردنا أن نبيّن.



وبهذا التدبير تبين أن زاوية ب آ جـ أصغر من كل زاوية تحدث بخط ب آ وخط مستقيم ‹يمرّ› على علامة آ في سطح دائرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وهنالك يتبين أنه كلما بعد الخط المستقيم القاطع للدائرة على مركزها الذي يحدث به وبخط آ ب زاوية من الخط الخارج من البصر إلى مركز الدائرة، اتسعت تلك الزاوية حتى ينتهي ذلك الخط إلى أن يكون عموداً على علامة آ من خط جـ آ ح - ونفرض ح على محيط الدائرة - كخط آ ط، فحينئذ تصير زاوية ب آ ط قائمة، لأن خط ب آ وخط جـ آ ح في سطح واحد، وط آ عليه قائم، فإذا جاز ذلك نحو علامة ح، انفرجت الزاوية، وكما دنت من ح ازدادت انفراجاً حتى ينتهي إلى ح. فإذا انتهت ط إلى ح، كانت الزاوية التي يحيط بها خطا ب آ آ ح أوسع منفرجة تحدث

7 نجد في الهامش: «لأن آ ب يوتر زاويتي قائمتين، فهو قطر الدائرة يقع فيها ما بين القائمتين، وأحد محيطي إحدى القائمتين أعظم من إحدى محيطي القائمة الأخرى، فالآخر أصغر كما بين في أوتار الدائرة ولأن مربع آ ب مثل مربعي المحيطة بالقائمة في كلي المثلين».

il devient encore plus obtus jusqu'à ce qu'elle aboutisse à *H*. Si *I* aboutit à *H*, alors l'angle entouré par les droites *BA* et *AH* est le plus largement obtus formé par les droites qui passent par le centre *A* et la droite *AB*,
89v comme l'angle *BAH*. / Si elle dépasse *H*, il se produit que <l'angle> obtus devient plus étroit et cette étroitesse augmente comme cela est arrivé à l'angle quand il était du côté de *I* jusqu'à ce qu'elle aboutisse à la droite *IAJ* qui coupe la droite *CH* suivant des angles droits, c'est alors que l'angle entouré par les droites *BA* et *AJ* sera droit et puis, à mesure que *J* qui est sur la circonférence s'approche de *E*, l'angle *JAB* devient de plus en plus aigu jusqu'à ce qu'on aboutisse à la direction de *C* et la droite *IJ* se superpose à la droite *CH* et l'angle *BAC* devient le plus petit des angles engendrés par les diamètres et la droite *AB*. Ce qu'il fallait démontrer.

<c> Il nous faut également introduire ici des choses qui expliquent lequel des diamètres sera vu plus grand et lequel sera vu plus petit si la droite menée de l'œil n'est pas perpendiculaire au centre du cercle, ni égale au demi-diamètre du cercle.

Nous disons : on a montré dans le livre des *Éléments mathématiques*[96] que tous les angles qui se trouvent dans une portion de cercle, <dont le sommet se trouve> sur son arc et qui interceptent la corde de cet arc, sont égaux. Pour toute portion de cercle dont la corde est un diamètre, la flèche – c'est-à-dire la perpendiculaire menée de son arc, qui tombe sur la corde et partage la corde en deux moitiés jusqu'à la circonférence – et la moitié de la corde, sont égales. Quant à la portion dont la flèche est plus longue que la moitié de la corde, c'est la portion qui est plus grande que la moitié du cercle. Parmi les droites menées du point qui sépare sa corde en deux moitiés jusqu'à sa circonférence, la plus longue est sa flèche, puis celle qui la suit, puis à mesure qu'elle s'éloigne de la flèche elle sera plus courte, pour que la plus courte soit la moitié de la corde. Quant à la portion qui est plus petite qu'un demi-cercle, sa flèche est la droite la plus courte menée du point qui sépare sa corde en deux moitiés jusqu'à la circonférence du cercle ; puis, celle qui la suit, puis parmi ces droites, celle qui s'éloigne de la flèche, sera plus grande, pour que la plus grande soit la moitié de la corde de l'arc, lequel entoure une portion plus petite qu'un demi-cercle. Il a été montré que pour deux triangles ayant une même base et dont l'angle de l'un est dans la surface de l'autre, alors l'angle du petit triangle est plus grand que l'angle du grand triangle[97].

[96] Euclide, *Éléments*, III, 21.
[97] Euclide, *Éléments*, I, 21.

بالخطوط المارّة على مركز آ وخط ا ب، كزاوية ب ا ح. / فإذا جازت ح ٨٩-ظ
عرض لها من ضيق المنفرجة ويزيد في ذلك كالذي عرض لها وهي في
جهة ط حتى ينتهى إلى خط ط ا ي المقاطع لخط جـ ح على زوايا قائمة،
فعند ذلك تكون الزاوية التي يحيط بها خطا ب ا ي قائمة، ثم كلما
5 دنت ي التي على محيط الدائرة إلى ه، ازدادت زاوية ي ا ب احتداداً حتى
ينتهي إلى سمت جـ ويركب خط ط ي خط جـ ح، فتصير زاوية ب ا جـ
أصغر الزوايا الحادثة من الأقطار ومن خط ا ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وقد ينبغي أن نقدم أيضًا أشياء يتضح بها أي الأقطار يرى أعظم وأيها
يرى أصغر إذا لم يكن الخط الخارج من البصر عموداً على مركز الدائرة
10 ولا مساويًا لنصف قطر الدائرة.
فنقول: إنه قد تبين في كتاب *الأسطقسات الرياضية* أن كل الزوايا التي
تقع في قطعة دائرة على قوسها ويوترها وتر تلك القوس متساوية. وكل
قطعة دائرة وترها قطر الدائرة، فإن سهمها، أعني العمود الخارج من
قوسها الواقع على وترها القاسم لوترها بنصفين إلى محيطها، ‹ونصف
15 وترها› متساويان. وأما القطعة التي يكون سهمها أطول من نصف
وترها، فهي التي هي أعظم من نصف دائرة. والخطوط التي تخرج من
العلامة الفاصلة لوترها بنصفين إلى محيطها، أطولها سهمها، ثم الذي
يليه، ثم كلما بعد من السهم، كان أقصر حتى يكون أقصرها نصف
وترها. فأما القطعة التي هي أقلّ من نصف دائرة، فإن سهمها أقصر
20 الخطوط الخارجة من العلامة الفاصلة لوترها بنصفين إلى محيط الدائرة، ثم
‹الذي يليه ثم› كل ما بعد من السهم من هذه الخطوط، كان أعظم حتى
يكون أعظمها نصف وتر القوس التي هي محيطة بقطعة أصغر من نصف
دائرة. وتبين أن كل مثلثين قاعدتهما واحدة وزاوية أحدهما في سطح
الآخر، فإن زاوية المثلث الأصغر أعظم من زاوية المثلث الأعظم.

5 ي ا جـ: جـ ا ب – 6 ب ا جـ: ب جـ ا – 13 سهمها: سمتها – 15 متساويان: متساوية
– 17 العلامة: علامة – 23 وتبين: وبين.

– 37 – Ceci étant introduit, montrons maintenant lequel des diamètres du cercle sera vu plus grand et lequel sera vu plus petit, si la droite menée de l'œil au centre du cercle n'est ni perpendiculaire au plan du cercle, ni égale à son demi-diamètre.

Nous disons : si elle n'est pas égale à son demi-diamètre, alors ou bien elle est plus grande que son demi-diamètre ou bien elle est plus petite.

<a> Supposons-la d'abord plus grande.

Nous disons que celui qui est vu comme le petit diamètre du cercle pour lequel la droite menée de l'œil à son centre n'est ni perpendiculaire à son plan, ni égale à son demi-diamètre, est le diamètre auquel on peut
90r mener / de l'œil une perpendiculaire qui tombe sur lui et sur le plan du cercle[98].

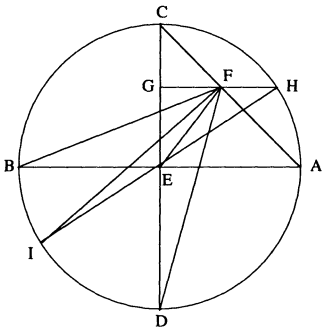


Fig. 37.1

Exemple : Supposons que le cercle est le cercle *ACBD* et supposons les deux droites *AB* et *CD* deux diamètres qui se coupent en *E* suivant des angles droits ; supposons son centre le point *E*, supposons la pupille au point *F*, supposons que la droite *EF* menée de la pupille au centre du cercle est une droite qui n'est ni perpendiculaire au plan du cercle, ni égale à son demi-diamètre et supposons que la perpendiculaire menée de *F* <au plan du cercle> tombe sur la droite *CE* au point *G*. Par conséquent le triangle *EFG* est dans un plan perpendiculaire au plan du cercle *ACBD*,

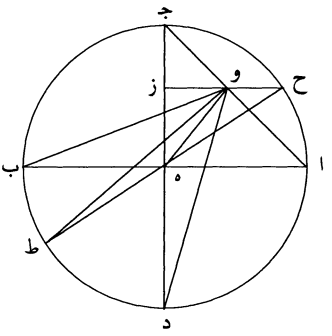
[98] La droite est perpendiculaire à la fois au diamètre et au plan du cercle.

– لَزَ – وإذ قدمنا ذلك، فلنبيّن الآن أي الأقطار التي للدائرة يرى أعظم وأيها يرى أصغر إذا لم يكن الخط الخارج من البصر إلى مركز الدائرة عموداً على سطح الدائرة ولا مساوياً لنصف قطرها.

فنقول: إن كان ليس بمساوٍ لنصف قطرها، فإما أن يكون أعظم من نصف قطرها وإما أصغر.

فلنفرضه أوّلاً أعظم.

فنقول: إن الذي يرى أصغر أقطار الدائرة التي ليس الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركزها عموداً على سطحها ولا مساوياً لنصف قطرها، هو القطر الذي يمكن أن يخرج / من البصر إليه عمودٌ واقعٌ عليه ٩٠-و وعلى سطح الدائرة.



مثال ذلك: أن نفرض الدائرة دائرة ا ج ب د، ونفرض خطي ا ب ج د المستقيمين قطرين يتقاطعان على هَ على زوايا قائمة، ونفرض مركزها على علامة هَ، ونفرض الناظر عند علامة وَ، ونفرض خط ه وَ الخارج من الناظر إلى مركز الدائرة الذي هو ليس بعمود على سطح الدائرة ولا هو مساوٍ لنصف قطرها، ونفرض العمود الخارج من وَ يقع على خط جـ ه على علامة زَ. فإذاً مثلث ه و ز <في> سطح قائم على سطح دائرة ا ج ب د

1-9 نجد في المخطوطة بإزاء هذه السطور تعليقًا في الهامش يكرر كاتبه كلمات الكندي مع اضطراب، وهو: «هو القطر الذي يقع عليه العمود من البصر عليه وعلى سطح الدائرة عموداً يقطاعه على زوايا قائمة، وهو في مثاله ا ب إذا كان العمود من البصر على سطح الدائرة أعظم من نصف القطر، وأما إذا كان أصغر من نصف القطر فإن أعظم الأقطار هو القطر الذي يقع عليه وعلى سطح الدائرة عمود من البصر، وهو في مثاله جـ د »– 2 وأيها: وانها – 4 إن: اذ – 7 أصغر: أعظم / الخط: مكررة.

son intersection avec le cercle est la droite *EG*. Par conséquent toutes les droites menées de *E* dans le triangle *EFG* sont perpendiculaires à la droite *AB* ; menons un diamètre qui passe par *E* et dont les extrémités tombent sur les arcs *AC* et *DB*, dans l'arc *AC* au point *H* et dans l'arc *BD* au point *I*.

Je dis que la droite *CD* est vue à partir de *F* plus petite que la droite *HI* et que *HI* est vue plus petite que *AB*.

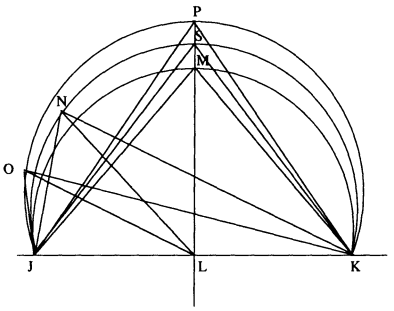
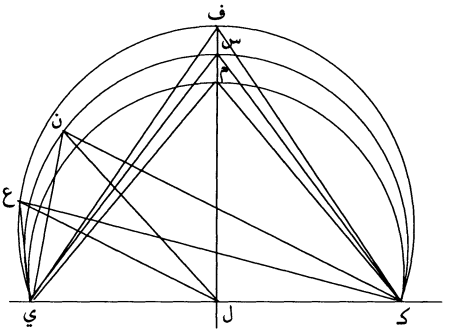


Fig. 37.2

Démonstration : Menons à côté du cercle la droite *JK* et supposons-la égale au diamètre du cercle, c'est-à-dire à la droite *AB* ; partageons-la en deux moitiés au point *L*, élevons en *L* une perpendiculaire *LM* et supposons *LM* égale à la droite *EF* ; menons deux droites de *M* jusqu'à *J* et de *M* jusqu'à *K* et circonscrivons au triangle *JKM* une portion de cercle dont la corde est la droite *JK*, c'est-à-dire la portion de cercle *JMK*. Il est clair que la portion de cercle *JMK* est plus grande qu'un demi-cercle et l'angle *JMK* est égal à l'angle *AFB*, car la base *AB* est égale à la base *JK* et la droite *EF* est perpendiculaire à la droite *AB* et égale à la droite *LM*, perpendiculaire à la droite *JK*, et *AE* est égale à *EB* et *KL* est égale à la droite *LJ*, donc la droite *AF* est égale à la droite *KM* et la droite *FB* est égale à la droite *MJ*, l'angle *AFB* est donc égal à l'angle *KMJ*. Mais l'angle *AEF* est plus grand que l'angle *HEF*, d'après ce que nous avons montré dans la proposition précédente : que le plus grand des angles formés par la droite *EF* et par les droites menées du point *E* dans le plan

على زوايا قائمة، والفصل المشترك والدائرة هو خط هـ ز؛ فإذاً كل الخطوط المستقيمة الخارجة من هـ في مثلث هـ و ز هي أعمدة على خط ا ب؛ ونخرج قطراً يمرّ على هـ وتقع نهاياته على قوسي ا جـ ود ب، أما في قوس ا جـ فعند علامة ح، وأما في قوس ب د فعند علامة ط.

فأقول: إن خط جـ د يرى من وَ أصغر من خط ح ط، وح ط يرى أصغر من ا ب.



برهان ذلك: أن نخرج ‹في› ناحية من الدائرة خط ي ك، ونفرضه مساوياً لقطر الدائرة، أعني خط ا ب، ونفصله بنصفين على علامة ل، ونقيم على ل عموداً عليه [من] ل م، ونفرض ل م مساوياً لخط هـ و، ونخرج خطين مستقيمين من مَ إلى يَ ومن مَ إلى كَ، ونعمل على مثلث ي ك م قطعة دائرة يكون وترها خط ي ك، وهي قطعة دائرة ي م ك. فبيّن أن قطعة دائرة ي م ك أعظم من نصف دائرة وزاويةَ ي م ك مساوية لزاوية ا و ب، لأن قاعدة ا ب مساوية لقاعدة ي ك وخطَّ هـ و عمود على خط ا ب ومساوٍ لخط ل م العمود على خط ي ك، وا ه مساوٍ لـ ه ب وك ل مساوٍ لخط ل ي، فخط ا و مثل خط ك م وخط و ب مثل خط م ي، فزاوية ا و ب مساوية لزاوية ك م ي. وزاوية ا ه و أعظم من زاوية ح ه و كما قدمنا في الشكل الذي قبل هذا: أن أعظم الزوايا الحادثة من خط هـ و والخطوط الخارجة من نقطة هـ في سطح الدائرة هي الزاوية الحادثة من خط

16 ح ه و: ه ح و.

du cercle est l'angle formé par la droite *EF*, par celle-ci et par la droite à laquelle on mène de *F* une perpendiculaire. Élevons au point *L* une droite égale à la droite *EF*, soit la droite *LN* ; l'angle formé par celle-ci et la droite *LJ* est égal à l'angle *HEF*. Menons de *N* une droite jusqu'à *J* et une droite jusqu'à *K* et circonscrivons au triangle *JNK* une portion de cercle
90v dont la corde est la droite *JK*, soit la portion *JNK*. / Mais nous avons montré que *ML* est plus longue que *LJ* et que la droite menée de *L* à la portion *JMK*, étant donné qu'elle est plus grande qu'un demi-cercle, est plus courte que la droite *LM*. Mais la droite *NL* est égale à la droite *LM* ; par conséquent *N* se trouve à l'extérieur de l'arc *JMK*, et le cercle sur lequel elle tombe est alors aussi plus grand qu'un demi-cercle, car sa perpendiculaire la plus petite[99] qui est *LN* est plus grande que la moitié de sa corde. Par conséquent sa perpendiculaire menée de *L*, passant par *M* et aboutissant en *S* de l'arc *KSJ*, est plus longue que *LN*, l'angle *KSJ* est donc plus petit que l'angle *KMJ*, d'après ce qui précède, et l'angle *KNJ* est égal à l'angle *KSJ*, car ils sont dans une même portion de cercle. Mais la droite *NL* est égale à la droite *EF*, la droite *LJ* est égale à la droite *EI*, *KL* est égale à la droite *EH* et l'angle *HEF* est égal à l'angle *JLN*, il reste l'angle *FEI* égal à l'angle *NLK* ; la droite *NJ* est alors égale à la droite *HF* et la droite *NK* est égale à *FI*, donc l'angle *JNK* est égal à l'angle *HFI*. Or on a montré que l'angle *JMK* qui est égal à l'angle *AFB* est plus grand que l'angle *JNK* qui est égal à l'angle *HFI* ; par conséquent l'angle *AFB* est plus grand que l'angle *HFI*, donc le diamètre *AB* est vu plus grand que le diamètre *HI*. On montre d'après ce qu'on a montré dans la proposition précédente que l'angle *FEG* est plus petit que l'angle *HEF* ; or l'angle *HEF* est égal à l'angle *NLJ*, donc l'angle *NLJ* est plus grand que l'angle *FEG*. Élevons au point *L* la droite *LO* égale à la droite *EF* et supposons l'angle *JLO* égal à <l'angle> *GEF* ; menons deux droites de *O* à *J* et à *K* et circonscrivons au triangle *JOK* une portion de cercle dont la corde est *JK*, soit la portion *JOPK*. Il est clair que la droite *LO* est à l'extérieur de l'arc *NJ* car elle est égale à la droite *LN* et elle est plus proche de *JL* que *LN*. Par conséquent la perpendiculaire menée de *L* à l'arc *JOPK* est plus longue que la perpendiculaire *LS* ; supposons-la la perpendiculaire *LSP*.

[99] Le sens de cette partie de phrase nous échappe, il suffisait de garder "car" et la seconde partie de la phrase et on lira "car *LN* est plus grande que la moitié de sa corde".

ه و، منه ومن الخط الخارج من و إليه عمود. ونقيم على علامة ل خطًا مستقيمًا مساويًا لخط ه و، وهو خط ل ن، تكون الزاوية الحادثة منه ومن خط ل ي مساوية لزاوية ح ه و. ونخرج من ن خطًا مستقيمًا إلى ي وخطًا مستقيمًا إلى ك، ونعمل على مثلث ي ن ك قطعة دائرة وترها خط ي ك، وهي قطعة ي ن ك./ وقد بينا أن م ل أطول من ل ي وأن الخط الخارج من ٩٠-ظ
ل إلى قطعة ي م ك، إذ هي أعظم من نصف دائرة، أقصر من خط ل م. وخط ن ل مساوٍ لخط ل م. فإذاً ن تقع خارجًا من قوس ي م ك، والدائرة التي تقع عليها إذ هي أيضًا أعظم من نصف دائرة لأن أصغر أعمدتها الذي هو ل ن أعظم من نصف وترها؛ فإذاً عمودها الخارج من ل المارّ على م المنتهي إلى س من قوس ك س ي أطول من ل ن، فزاوية ك س ي أصغر من زاوية ك م ي لما قدمنا، وزاوية ك ن ي مساوية لزاوية ك س ي لأنهما في قطعة واحدة من دائرة. وخط ن ل مساوٍ لخط ه و وخط ل ي مساوٍ لخط ه ط <و> ك ل مساوٍ لخط ه ح وزاوية ح ه و مساوية لزاوية ي ل ن، فتبقى زاوية و ه ط مساوية زاوية ن ل ك، فخط ن ي مساوٍ خط ح و وخط ن ك مساوٍ و ط، فزاوية ي ن ك مساوية زاوية ح و ط. وقد تبين أن زاوية ي م ك المساوية لزاوية ا و ب أعظم من زاوية ي ن ك المساوية لزاوية ح و ط؛ فإذاً زاوية ا و ب أعظم من زاوية ح و ط، فإذاً قطر ا ب أعظم من قطر ح ط. وقد تبين لما تقدم في الشكل الذي قبل هذا أن زاوية و ه ز أصغر من زاوية ح ه و وزاوية ح ه و مساوية لزاوية ن ل ي، فزاوية ن ل ي أعظم من زاوية و ه ز. فنقيم على علامة ل خط ل ع مساويًا خط ه و، ونفرض زاوية ي ل ع مساوية ز ه و، ونخرج خطين مستقيمين من ع إلى ي وإلى ك، ونخطّ على مثلث ي ع ك قطعة دائرة وترها ي ك، وهي قطعة ي ع ف ك. فبيّنٌ أن خط ل ع خارج من قوس ن ي لأنه مساوٍ لخط ل ن وأقرب إلى ي ل من ل ن. فإذاً العمود الخارج من ل إلى قوس ي ع ف ك أطول من عمود ل س. فنفرضه عمود ل س ف، ونخرج خطين مستقيمين من ف إلى ي وإلى ك، فزاوية ك س ي المساوية لزاوية ك ن ي

8 أعمدتها: عمودها.

Menons deux droites de *P* jusqu'à *J* et jusqu'à *K*. L'angle *KSJ* qui est égal à l'angle *KNJ* est plus grand que l'angle *KPJ* ; mais l'angle *KPJ* est égal à l'angle *KOJ* car ils sont dans une même portion de cercle et sur sa circonférence, et leur corde est la corde de la portion. Mais la droite *LO* est égale à la droite *EF*, la droite *EC* est égale à la droite *LJ*, la droite *ED* est égale à la droite *LK*, et l'angle *OLJ* est égal à l'angle *FEC*, il reste l'angle *OLK* égal à l'angle *FED*. La droite *OJ* est donc égale à la droite *FC*, et la droite *OK* est donc égale à la droite *FD* et l'angle *CFD* est égal à l'angle *JOK*. Mais on a montré que l'angle *KNJ* qui est égal à l'angle *HFI*
91r est plus grand que l'angle *KOJ*. / L'angle *HFI* est donc plus grand que l'angle *CFD*, le diamètre *HI* est donc vu à partir de *F* plus grand que le diamètre *CD*. On a ainsi montré que *AB* est vu à partir de *F* plus grand que *HI*, et que *HI* est vu plus grand que *CD*. Ce qu'il fallait démontrer.

<b> Dès lors, il nous apparaîtra clairement que si la droite *EF* est plus courte que le demi-diamètre du cercle, la droite *AB* sera vue plus courte que la droite *HI* et *HI* sera vue plus courte que la droite *CD*.

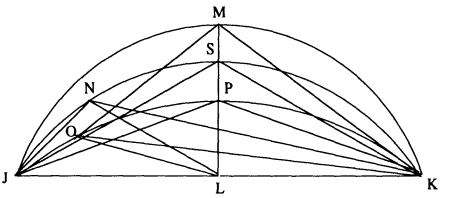
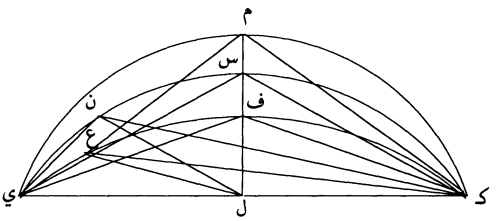


Fig. 37.3

Supposons la droite *ML* égale à la droite *EF*. Par conséquent la portion de cercle *JMK* est plus petite qu'un demi-cercle, donc la plus courte des droites menées de *L* à la circonférence est la droite *LM*, et la plus longue est la droite *LJ* et celle qui s'approche de *J* sera plus longue que celle qui s'en éloigne et s'approche de *M*. L'angle *JMK* est par conséquent égal à l'angle *AFB*. Menons de *L* la droite *LN* égale à la droite *EF*, elle est donc égale à la droite *LM*, et elle n'atteint pas l'arc *MJ* ; la perpendiculaire de *L* à la portion *JNK* est plus courte que la perpendiculaire *LM*. Supposons-la la perpendiculaire *LS* ; l'angle *JSK* qui est égal à l'angle *HFI* est plus grand que l'angle *JMK* égal à l'angle *AFB*. On voit donc la droite *AB* plus petite que la droite *HI* étant donné qu'elle est vue sous un angle plus petit. La droite *OL* n'atteint pas l'arc *JSK*, la perpendiculaire menée de *L* à l'arc *JOK* est plus courte que la droite *LO* ; supposons-la la perpendiculaire *LP*. L'angle *JNK* est plus petit que l'angle *JOK*, donc

أعظم من زاوية كـ ف ي؛ وزاوية كـ ف ي مساوية لزاوية كـ ع ي لأنها في قطعة دائرة واحدة وعلى محيطها ووترهما وتر القطعة. وخط ل ع مساوٍ لخط ه و وخط ه جـ مساوٍ لخط ل ي وخط ه د مساوٍ لخط ل كـ وزاوية ع ل ي مساوية زاوية و ه جـ، وتبقى زاوية ع ل كـ مساوية زاوية و ه د. فخط ع ي مساوٍ خط و جـ وخط ع كـ مساوٍ خط و د وزاوية جـ و د مساوية زاوية ي ع كـ. وقد تبين أن زاوية كـ ن ي المساوية لزاوية ح و ط أعظم من زاوية كـ ع ي. / فزاوية ح و ط أعظم من زاوية جـ و د؛ فقطر ٩١-و ح ط يرى من و أعظم من قطر جـ د. فقد تبين أن ا ب يرى من و أعظم من ح ط، وح ط أعظم من جـ د؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وهنالك تبين لنا أنه إن كان خط ه و أقصر من نصف قطر الدائرة، فإن خط ا ب يرى أقصر من خط ح ط، وح ط يرى أقصر من خط جـ د.



لأنا نفرض خط م ل مساوياً لخط ه و. فإذاً قطعة دائرة ي م كـ أصغر من نصف دائرة، فأقصر الخطوط التي تخرج من ل إلى المحيط هو خط ل م، وأطولها خط ل ي وكل ما قرب من ي كان أطول مما بعد منها وقرب إلى م. فإذاً زاوية ي م كـ مساوية لزاوية ا و ب. ونخرج من ل خط ل ن مساوياً لخط ه و، فهو مساوٍ لخط ل م وهو يقصر عن قوس م ي، فالعمود الذي من ل إلى قطعة ي ن كـ أقصر من عمود ل م. فنفرضه عمود ل س، فزاوية ي س كـ المساوية لزاوية ح و ط أعظم من زاوية ي م كـ المساوية لزاوية ا و ب. فخط ا ب يرى أصغر من خط ح ط، إذ يرى بزاوية أصغر. وخط ع ل يقصر عن قوس ي س كـ، والعمود الخارج من ل إلى قوس ي ع كـ أقصر من خط ل ع. فنفرضه عمود ل ف، فزاوية <ي ن كـ أصغر

l'angle *JOK* qui est égal à l'angle *CFD* est plus grand que l'angle *JSK* qui est égal à l'angle *HFI*, par conséquent la droite *CD* est vue plus grande que la droite *HI*. Car les cas de figure dans lesquels la base est *JK*, sont les mêmes[100] que les cas de figure et les positions dans lesquels <l'arc> était plus grand qu'un demi-cercle, si ce n'est que l'angle *S* qui était plus petit que l'angle *M* est devenu plus grand, car il est dans son intérieur ; et que l'angle *P* qui était plus petit que l'angle *S* est devenu plus grand que l'angle *S* car il est venu dans son intérieur. L'angle *N* est donc plus grand que l'angle *M* et l'angle *O* est plus grand que l'angle *N*, donc l'angle *F* qui intercepte la droite *HI* est plus petit que l'angle *F* qui intercepte la droite *CD* et l'angle *F* qui intercepte la droite *AB* est plus petit que l'angle *F* qui intercepte la droite *HI*. Si la droite *EF* est plus petite que le demi-diamètre, on voit alors *CD* à partir de *F* plus grande que *HI*, et *HI* plus grande que *AB*. Ce qu'il fallait démontrer. /

91v – 38 – Les roues d'une charrette au cours de son mouvement sont vues tantôt circulaires tantôt non circulaires.

Exemple : Supposons que la roue soit le cercle *ACBD*, menons en elle deux diamètres qui se coupent suivant des angles droits[101], supposons-les les diamètres *AB* et *CD*, et soit son centre le point *E*.

Je dis que le cercle *ACBD* est vu tantôt circulaire et tantôt non circulaire.

Démonstration : Si la droite menée de l'œil au point *E* qui est le centre de la roue est perpendiculaire en *E* aux droites *AB* et *CD*, alors les diamètres qui se trouvent en elle sont tous vus égaux, ainsi la roue *ACBD* sera vue nécessairement circulaire.

---

[100] Litt. : sont égaux.

[101] Cette hypothèse n'intervient pas.

من زاوية ي ع ك، فزاوية> ي ع ك المساوية لزاوية جـ و د أعظم من زاوية ي س ك المساوية لزاوية ح و ط؛ فإذاً خط جـ د يرى أعظم من خط ح ط. لأن أحوال الشكل الذي قاعدته ي ك مساوية لأحواله وأوضاعه حين كان أعظم من نصف دائرة إلا أن زاوية س التي كانت أصغر من زاوية م صارت أعظم، لأنها صارت في داخلها، وزاوية ف التي كانت أصغر من زاوية س صارت أعظم من زاوية س، لأنها صارت في داخلها. فزاوية ن أعظم من زاوية م وزاوية ع أعظم من زاوية ن، فزاوية و التي يوترها خط ح ط أصغر من زاوية و التي يوترها خط جـ د، وزاوية و التي يوترها خط ا ب أصغر من زاوية و التي يوترها خط ح ط. فإذا كان خط ه و أصغر من نصف القطر، فإنه يرى جـ د من و أعظم من ح ط وح ط أعظم من ا ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن./

– لح – بكَرات العجل ترى وهي في حركتها تارة مستديرة وتارة غير مستديرة. ٩١-ظ

مثال ذلك: أن نفرض البكرة دائرة ا جـ ب د ونخرج فيها قطرين متقاطعين على زوايا قائمة، ونفرضهما قطري ا ب وجـ د، ومركزها علامة ه.

فأقول: إن دائرة ا جـ ب د ترى تارة مستديرة وتارة غير مستديرة.

برهان ذلك: أنه إذا كان الخط المستقيم الخارج من البصر إلى علامة ه التي هي مركزها عموداً على ه من خطي ا ب جـ د، فإن الأقطار التي تقع فيها جميعًا ترى متساوية، فباضطرار أن يكون بكرة ا جـ ب د ترى مستديرة.

1 ي ع ك: يفك – 2 ح و ط: يوط – 9 كان: ار – 10 ح ط: خط – 15 ونفرضهما: ونفرضها.

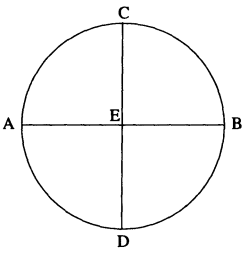


Fig. 38

De même si la droite menée de l'œil au point *E* est égale au demi-diamètre *AB*, alors les diamètres menés dans le cercle sont aussi tous vus égaux, comme nous l'avons montré précédemment, il est donc clair que la roue *ACBD* sera vue circulaire.

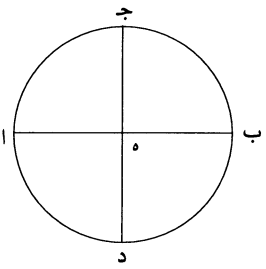
Si la droite menée de l'œil au point *E* n'est ni perpendiculaire au plan du cercle *ACBD*, ni égale au demi-diamètre du cercle, alors les diamètres qui coupent le cercle sont vus différents. Il est donc clair que la roue *ACBD* sera vue, pour cela, non circulaire.

Ceci se produit pour tout cercle ou toute figure circulaire : si la droite menée de l'œil à son centre tombe perpendiculairement à son plan ou non perpendiculairement, mais en étant égale au demi-diamètre du cercle, on voit le cercle, pour cela, circulaire et si elle est inégale[102], il sera vu dévié et non circulaire. Ce qu'il fallait démontrer[103].

– 39 – Il y a un lieu tel que si la pupille s'y fixe tandis que le visible se déplace sur un même plan, le visible sera vu, dans des positions différentes, d'une grandeur égale si les positions des deux extrémités du visible sont toutes deux à droite, ou à gauche, ou en face de la pupille ; toutefois l'angle du rayon mené de l'œil à la portion du cercle dans laquelle se trouvaient l'angle du rayon et les deux extrémités du visible, est à droite ou à gauche, ou en face de la pupille[104].

Exemple : Supposons la pupille au point *A* et le visible dont les extrémités sont toutes les deux à gauche de *A*, dans la position de la droite *CD*. Menons de *A* jusqu'à *C* et jusqu'à *D* deux droites et traçons un cercle qui passe par les points *A*, *D*, *C*.

[102] Différente du demi-diamètre et non perpendiculaire au plan du cercle.
[103] Voir note complémentaire.
[104] Voir note complémentaire.



وأيضًا إن كان الخط المستقيم الخارج من البصر إلى علامة ه مساويًا لنصف قطر ا ب، فإن الأقطار التي تخرج في الدائرة جميعًا ترى متساوية أيضًا كما بينا آنفًا؛ فبيّن أن بكرة ا جـ ب د ترى مستديرة.

وإن كان الخط المستقيم الخارج من البصر إلى علامة هَ ليس بعمود على سطح دائرة ا جـ ب د، ولا مساويًا لنصف قطر الدائرة، فإن الأقطار القاطعة للدائرة ترى مختلفة، فبيّنٌ أن بكرة ا جـ ب د ‹ترى› لذلك غير دائرة.

وهذا يعرض لكل دائرة أو مستدير وقع الخط المستقيم الخارج من البصر إلى مركزها عموداً على سطحها، أو إن لم يكن عموداً، كان مساوياً لنصف قطر الدائرة، أن ترى الدائرة لذلك مستديرة وإن خالف ذلك، رئيت منحرفة غير مستديرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– لطَ – للناظر موضع إذا ثبت فيه وانتقل المنظور إليه على سطح واحد، رأى المنظور إليه في مواضع مختلفة متساوي العظم، وهو إذا كان المنظور إليه وضْع نهايتيه جميعًا عن يمين الناظر أو عن يساره أو مقابلاً له؛ إلا أن زاوية الشعاع الخارج من البصر في قطعة الدائرة التي كانت فيها زاوية الشعاع ونهايتا المنظور إليه ‹هي› عن يمين الناظر أو عن يساره ‹أو مقابلاً له›.

مثال ذلك: أن نفرض الناظر عند علامة آ والمنظور إليه – نهايتاه جميعًا يسرة آ وهو في موضع خط جـ د، ونخرج من آ إلى جَ وإلى دَ خطين مستقيمين، وندير دائرة تمرّ على علامات آ دَ جَ.

7 دائرة: دائر – 8 نجد في الهامش دون إشارة «مع شكل» – 15 كانت: كان.

Je dis que si *CD* se déplace et ses extrémités étant sur la circonférence du cercle *ADCG*, alors elle sera vue égale dans toutes les positions tant que ses extrémités seront, toutes les deux, d'un seul côté, soit à droite de la pupille, soit à gauche, soit lui faisant face, l'angle du rayon mené de l'œil et qui entoure ses deux extrémités étant dans la portion de cercle /
92r dans laquelle se trouve l'angle du rayon mené aux deux extrémités du visible[105], le visible étant à droite de la pupille, ou à gauche, ou lui faisant face.

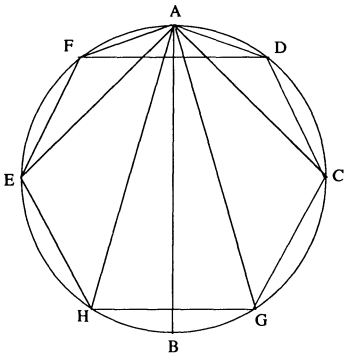
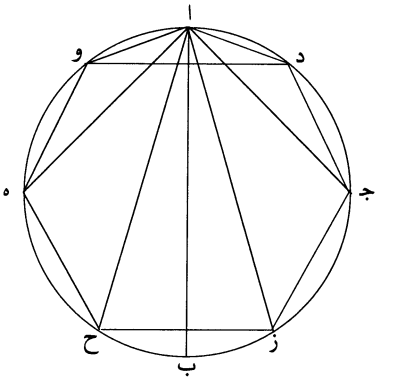


Fig. 39

Démonstration : La droite *CD* a séparé le cercle en deux portions, une petite et une grande, la petite est celle dont l'arc est *CD*, la grande est celle dont l'arc est *DAGC*[106]. Tous les angles qui se trouvent dans la grande portion de cercle, qui est la portion de cercle *DAGC*, et qui interceptent la droite *CD*, sont égaux, donc la droite *CD* est vue sous l'angle *CAD* ; si elle se déplace dans la position *CG*, alors l'angle *CAG* sera égal à l'angle *CAD* car leurs bases sont égales – c'est-à-dire *CG* et *CD* qui sont dans une même portion de ce cercle et sur sa circonférence. De même si elle se déplace pour venir dans la position *GH*, l'angle *GAH* sera égal à l'angle *GAC*, car ils sont tous dans une même portion et leurs bases sont égales. De même si elle se déplace pour venir dans la position *HE*, alors l'angle *HAE* sera égal à l'angle *GAH* ; de même si elle se déplace pour venir dans la position *EF*, alors l'angle *EAF* sera égal à l'angle *HAE*, elle sera donc vue à partir du point *A* dans toutes ces positions, toujours égale, quel que soit l'angle de la vision, dans une même portion de cercle, sans qu'il change. Si l'angle du rayon qui l'entoure change de portion de cercle, pour venir dans la portion *CD*,

[105] Dans la position initiale *CD*.
[106] Ceci revient à supposer que l'angle *CAD* est aigu.

فأقول: إن جـ د إذا انتقل، ونهايتاه على محيط دائرة ا د جـ ز، فإنه في جميع المواضع يرى متساويًا ما كانت نهايتاه جميعًا في جهة واحدة، إما يمنة عن الناظر وإما يسرة عنه وإما مقابلاً، وزاوية الشعاع الخارج <من البصر> المحيط بنهايتيه في قطعة الدائرة / التي كانت فيها زاوية الشعاع الخارج إلى نهايتي المنظور <إليه>، والمنظور إليه يمنة عن الناظر أو يسرة <أو مقابلاً له>. ٩٢-و



برهان ذلك: أن خط جـ د قطع الدائرة بقطعتين، صغرى وعظمى، أما الصغرى فهي التي قوسها جـ د، وأما العظمى فهي التي قوسها د ا ز جـ. وكل زاوية تقع في قطعة الدائرة العظمى التي هي قطعة دائرة د ا ز جـ، ويوترها خط جـ د فهي متساوية، فخط جـ د يرى بزاوية جـ ا د، فإذا انتقل فصار في موضع جـ ز، فإن زاوية جـ ا ز مساوية لزاوية جـ ا د، لأن قواعدهما متساوية، أعنى جـ ز وجـ د وهما في قطعة دائرة واحدة وعلى محيطها. وكذلك إذا انتقل فصار على موضع ز ح، كانت زاوية ز ا ح مساوية لزاوية ز ا جـ لأنهما جميعًا في قطعة واحدة وقواعدهما متساوية. وكذلك إذا انتقل وصار في موضع ح ه، فإن زاوية ح ا ه مساوية لزاوية ز ا ح؛ وكذلك أيضًا إذا انتقل فصار في موضع ه و، فإن زاوية ه ا و مساوية لزاوية ح ا ه، فهو إذاً يرى في هذه المواضع جميعًا - وكيفما كانت زاوية النظر إليه في قطعة واحدة من الدائرة لم تبدل- متساويًا أبداً من علامة آ. فإن تبدلت زاوية الشعاع المحيطة به قطعة الدائرة فصارت في

3 وزاوية: فزاوية - 16 ه و: ه ه / ه ا و: ا ه.

elle sera vue différente de cela, comme lorsqu'elle se déplace et vient couper le diamètre mené jusqu'à *B* comme là où se trouve *DF*[107]. Donc l'angle qui intercepte la droite *DF* est celui qui correspond à la portion entourée par l'arc *CD*, le plus petit[108], l'angle *FAD* est donc plus grand que l'angle *CAD*, on voit donc le visible plus grand, s'il parvient à la position *FD*, car il est vu à partir du point A sous l'angle *FAD*, le plus grand ; il est donc vu plus grand. Ce qu'il fallait démontrer.

– 40 – Dès lors, nous montrons que si le visible est fixe, il est possible que l'œil se déplace dans différentes positions, en voyant le visible, le même, sans que sa grandeur augmente ou diminue.

Exemple : Supposons d'abord la pupille dans une position *A* et le visible dans une position *CB* telle que ses deux extrémités soient à la fois à gauche[109] de la pupille ; que le visible soit fixe et que l'œil se déplace.

Je dis qu'elle voit *BC* dans un même état de grandeur, sans augmentation ni diminution, et cela quand l'angle des rayons menés aux extrémités de la grandeur *BC* est dans une même portion de cercle qui ne change pas.

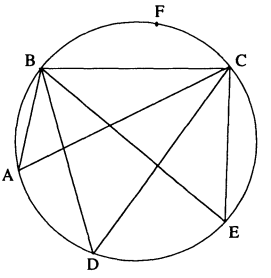


Fig. 40

Démonstration : Menons de *A* deux droites aux points *B* et *C* et traçons
92v le cercle qui passe par les points *A*, *B*, *C*, / alors la pupille voit la grandeur *BC* sous l'angle *BAC* qui est dans la portion du cercle *ABC*, qui est la portion *BAC*. L'œil se déplace ensuite au point *D* et s'éloigne de *BC*. Menons de *D* deux droites à *B* et *C*, l'angle *BDC* est alors égal à

[107] Voir note complémentaire.

[108] L'angle *DAF* est égal à un angle inscrit qui aurait son sommet sur le petit arc *CD* et intercepterait le grand arc *CAD*.

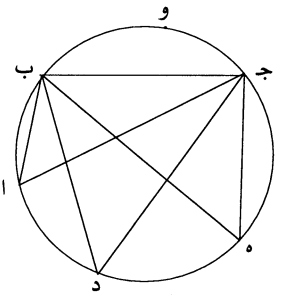
[109] Cette précision "à gauche" n'intervient pas dans la suite.

قطعة جـ د، رأى خلاف ذلك، كانتقاله ويصير يقطع القطر الخارج إلى ب كوقوع د و. فإن الزاوية التي يوترها خط د و هي الموافقة [المساوية] للقطعة التي يحيط بها قوس جـ د الصغرى، فزاوية و ا د أعظم من زاوية جـ ا د، فيرى المنظور إليه إذا صار في موضع و د أعظم <لأنه يرى من
5 علامة آ بزاوية و ا د العظمى فيرى أعظم>؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– <م> – وهنالك نبين أن المنظور إليه إذا كان ثابتًا، فقد يمكن أن ينتقل البصر في مواضع مختلفة، وهو يرى المنظور إليه واحداً، لم يزد ولم ينقص في عظمه.

مثال ذلك: أن نفرض الناظر أوّلاً في موضع آ والمنظور إليه في موضع
10 جـ ب، <و>نهايتاه جميعًا عن يسار الناظر، ويكون المنظور إليه ثابتًا والبصر منتقلاً.

فأقول: إنه يرى ب جـ بحال واحدة في العظم، لا زائداً ولا ناقصًا، وذلك إذا كانت زاوية الشعاع الخارج إلى نهايتي عظم ب جـ في قطعة واحدة من الدائرة غير متبدلة.



15 برهان ذلك: أن نخرج من آ خطين مستقيمين إلى علامتي ب وجـ، ونخطّ دائرة تمرّ على علامات آ ب جـ،/ فالناظر ينظر <إلى> عظم ب جـ ٩٢-ظ
بزاوية ب ا جـ التي في قطعة دائرة ا ب جـ التي هي قطعة ب ا جـ. ثم ينتقل البصر إلى علامة د ويبعد عن ب جـ. ونخرج من د خطين مستقيمين إلى ب وجـ، فزاوية ب د جـ مساوية لزاوية ب ا جـ، لأنهما

1 ويصير: ويصيره – 19 لأنهما: لانها.

l'angle *BAC*, car ils sont dans une même portion et interceptent un même arc de la circonférence du cercle. L'œil se déplace également ensuite et s'éloigne de *D* jusqu'au point *E*. Menons de *E* deux droites à *B* et *C*, alors l'angle *BEC* est égal à l'angle *BDC*, donc la grandeur *BC* est vue à partir des points *A*, *D* et *E* et de toutes les positions sur lesquelles il se déplace sur la portion de cercle *BADEC* dans le même état de grandeur, sans augmentation ni diminution. Si la pupille change sa position par rapport aux deux portions de cercle pour venir dans la portion entourée par l'arc *CB*, elle verra le visible différent, en grandeur, de ce qu'elle voyait, comme lorsqu'elle se déplace au point *F* de l'arc *CB*, alors elle verra la grandeur *BC* sous les rayons *FB*, *FC*. Mais la portion *CB* est plus petite que la portion *BADEC*, par conséquent la pupille voit *CB* à partir du point *F* plus grande qu'à partir de tous les points de la portion *BADEC*. Ce qu'il fallait démontrer[110].

– 41 – Pour toute grandeur ayant une hauteur posée sur un plan, il est possible que la pupille se place dans une position sur le plan sur lequel est posée la grandeur et sur lequel la grandeur se meut et se déplace dans des positions différentes telles que sa hauteur sera vue dans le même état, sans changement dans sa grandeur.

Exemple : Supposons la pupille au point *A* et le visible ayant une hauteur dans la position *BC*, *C* dans le plan où se trouve *A* et *B* au-dessus de *C* et au-dessus du plan. Nous joignons *A* et *C* par une droite qui est la droite *AC* et nous traçons à partir de *A* et à la distance de *C*, le cercle *CD*.

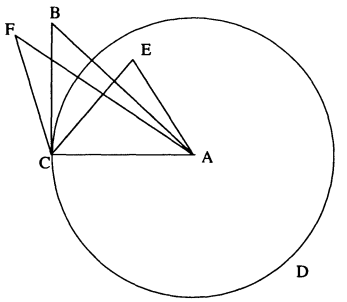


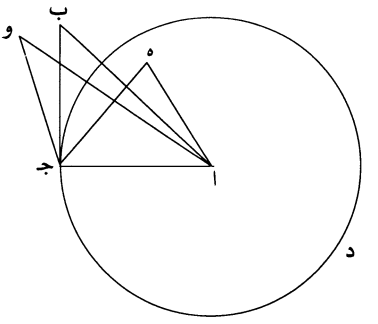
Fig. 41

[110] Voir note complémentaire.

‹في قطعة واحدة و›توترهما قوس واحدة من محيط الدائرة. ثم ينتقل البصر أيضًا ويبعد عن دَ إلى علامة هَ. ونخرج خطين مستقيمين من هَ إلى بَ وإلى جَ، فزاوية ب ه جـ مساوية زاوية ب د جـ، فعظم ب جـ يرى من علامات آ ودَ وهَ وجميع المواضع التي ينتقل فيها من قطعة الدائرة التي عليها ب ا د ه جـ بحال واحدة في عظمه لا زائداً ولا ناقصًا. فإن بدل الناظر موضعه من قطعتي الدائرة فصار في القطعة التي يحيط بها قوس جـ ب، رأى المنظور إليه مخالفًا لما كان يرى عليه في العظم، كانتقاله إلى علامة وَ من قوس جـ ب، فإنه يرى عظم ب جـ بشعاعي و ب و جـ. وقطعة جـ ب أصغر من قطعة ب ا د ه جـ، فإذاً الناظر يرى جـ ب من علامة وَ أعظم مما يراه من جميع العلامات التي في قطعة ب ا د ه جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– ‹مَا› – كل عظم له سمك موضوع على سطح معتدل، فإنه يمكن أن يوضع الناظر من السطح المعتدل الذي عليه العظم في موضع ويتحرك العظم وينتقل في مواضع مختلفة، وسمكه يرى بحال واحدة لم يتبدل في عظمه.

مثال ذلك: أن نفرض الناظر عند علامة آ والمنظور إليه ذا السمك في موضع ب جـ، وجـ منه في السطح المعتدل الذي فيه آ وبَ عالية على السطح المعتدل. ونصل آ جَ بخط مستقيم هو خط آ جـ، ونخطّ على آ وببعد جـ دائرة جـ د.



12 موضع: موصوع – 15 ذا: اذا – 17 آ جَ: ابجـ.

Je dis que si la grandeur *BC* est perpendiculaire à la droite *AC,* tout en étant <dans un plan> perpendiculaire au plan du cercle *CD*[111], ou si elle ne l'est pas, et si elle se déplace par le déplacement de la droite *AC* suivant la circonférence du cercle qui est le cercle *CD*, alors elle sera vue à partir du point *A* dans le même état de grandeur, ni augmentée ni diminuée par rapport à ce qu'elle était avant son mouvement.

Démonstration : *BC* ne peut être que perpendiculaire au plan du cercle *CD*, ou inclinée dans la direction du centre du cercle, ou inclinée vers l'extérieur du cercle.

<a> Supposons-la d'abord perpendiculaire au plan du cercle *CD* et menons de *A* une droite jusqu'à *B* ; l'angle *ACB* est donc droit et l'angle *CAB* est celui qui sort de la pupille, c'est-à-dire qui est entouré par les deux rayons menés de la pupille aux points *C* et *B* ; ainsi quel que soit le mouvement de la droite *CA*, *A* étant fixé au centre du cercle, le triangle *ACB* se déplace conformément à sa figure, sur le plan du cercle *CD*, donc l'angle *BAC*, quel que soit le déplacement de la droite *AC*, *A* étant fixé à sa place, est selon le même état sans s'élargir, ni se rétrécir. Ainsi, là où passe la grandeur *BC*, suivant la circonférence du cercle *CD*, elle sera vue
93r sous l'angle *BAC* ; ainsi, quel que soit / son déplacement sur la circonférence du cercle *CD*, elle sera vue dans un même état de grandeur, sans augmentation ni diminution.

<b> Supposons ensuite le haut de *CB* incliné[112] dans la direction du centre du cercle, comme la droite *CE*. Menons de *A* jusqu'à *E* une droite, le triangle *CAE* a toujours des angles égaux[113] ; ainsi quel que soit le déplacement de *C* sur la circonférence du cercle, *A* étant fixé et la droite *CB* se déplaçant, le triangle[114] *ACE* se déplace sur le plan du cercle et l'angle *CAE* est toujours le même, sans changer : c'est l'angle qui sort de la pupille vers la grandeur *CE*. Alors *CE* sera vue – quel que soit le déplacement de *C* sur la circonférence du cercle, et quel que soit l'inclinaison de *CE* par rapport à sa figure en même temps que le triangle *CAE* – dans un même état de grandeur, sans augmentation, ni diminution.

---

111 Le plan *BCA* est supposé perpendiculaire au plan du cercle.

112 Litt. : incliné vers le haut.

113 Une fois l'inclinaison de *CE* choisie, le triangle *CAE* est défini, ses angles garderont la même mesure au cours du déplacement.

114 Litt. : surface.

فأقول: إن عظم ب جـ إذا كان قائماً من خط آ جـ على زاوية قائمة، إذ كان قائماً على سطح دائرة جـ د أو لم يكن كذلك، فإنه إذا انتقل بانتقال خط آ جـ على محيط الدائرة التي هي دائرة جـ د، فإنه يرى من علامة آ بحال واحدة في عظمه لا أزيد ولا أنقص مما كان عليه قبل حركته.

برهان: أنه لا يخلو من أن يكون قائماً على سطح دائرة جـ د على زوايا قائمة أو يكون مائلاً إلى جهة مركز الدائرة أو مائلاً إلى خارج الدائرة.

فلنفرضه أوّلاً عموداً على سطح دائرة جـ د ونخرج من آ خطًا مستقيماً إلى ب، فزاوية آ جـ ب قائمة وزاوية جـ آ ب هي الخارجة من الناظر، أعني التي يحيط بها شعاعا الناظر الخارجان إلى علامتي جـ وب، فكيفما يتحرك خط جـ آ وآ راكزة في مركز الدائرة، انتقل سطح آ جـ ب ‹المثلث› على هيئته على سطح دائرة جـ د، فزاوية ب آ جـ كيف انتقل خط آ جـ وآ راكزة في مكانها، على حال واحدة لم تتسع ولم تضق، فحيث مرّ عظم ب جـ من محيط دائرة جـ د، فهو يرى بزاوية ب آ جـ؛ فهو إذاً كيف / انتقل على محيط دائرة جـ د، يرى بحال واحدة في العظم لا زيادة ٩٣-و ولا نقص.

ثم نفرض جـ ب مائلاً للأعلى إلى جهة مركز الدائرة كخط جـ ه. ونخرج من آ إلى ه خطًا مستقيماً فسطح جـ آ ه المثلث متساوي الزوايا ‹لأنا نفرض خطي آ ه جـ ه كل واحد مثل آ جـ فهو متساوٍ› أبداً، فكيف انتقلت جـ على محيط الدائرة وآ راكزة وانتقل خط جـ ب، انتقل سطح آ جـ ه على سطح الدائرة وزاوية جـ آ ه واحدة أبداً غير متبدلة، وهي الزاوية الخارجة من الناظر إلى عظم جـ ه. فـ جـ ه يرى أبداً - كيف انتقلت جـ على محيط الدائرة وتقلبه عن هيئته مع سطح جـ آ ه - بحال واحدة في العظم لا زيادة ولا نقص.

1 على: من - 2 جـ د أو: جـ د ا ا د - 5 يخلو: غير واضحة - 11 فكيفما: فكيف ما - 12 ب آ جـ: د ا جـ - 17 مائلاً: مايل / إلى جهة مركز الدائرة: أثبتها في الهامش - 20 انتقل: نقل - 21 متبدلة: منتقلة.

<c> Par le même procédé, nous montrons que, si le point *B* est incliné vers l'extérieur du cercle, alors *CB* sera dans la position de *CF*, et si *C* se déplace sur la circonférence du cercle, alors *CF* sera vue égale à partir du point *A*, car l'angle *CAF* est toujours dans le même état, en grandeur ; il ne se rétrécit ni ne s'élargit. Ce qu'il fallait démontrer.

– 42 – Dès lors, nous montrons que si les conditions sont conformes à ce que nous avons introduit, si on élève au centre du cercle qui est le point *A* une perpendiculaire comme la droite *AE* et si on suppose la pupille dans la position *E,* alors, si la grandeur *BC* se meut sur la circonférence du cercle par le mouvement de la droite *AB* tel que *A* soit fixe, *B* se déplaçant, elle sera vue <toujours> égale là où elle est par rapport à la circonférence du cercle.

Exemple : Supposons le cercle le cercle *BD*, la grandeur *BC*, la droite menée de son centre au point *B* la droite *AB*, la perpendiculaire au plan du cercle en son centre la perpendiculaire *AE*, quelle que soit sa longueur, et la position de la pupille le point *E*. Menons de *E* deux droites à *B* et à *C*.

Je dis que la droite *BC* est vue du point *E*, là où *B* se trouve sur la circonférence du cercle, d'une même grandeur, sans augmentation ni diminution.

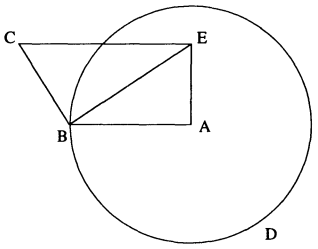


Fig. 42

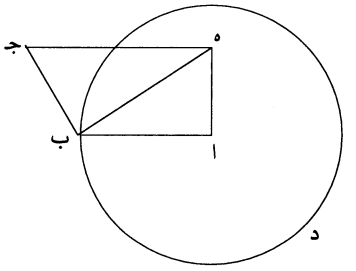
Démonstration : L'angle *ABC* est inchangeable, comme nous l'avons supposé, là où *B* se trouve sur la circonférence du cercle, qu'il soit obtus, aigu ou droit. Le plan *BCA* est perpendiculaire au plan du cercle, que la droite *BC* soit perpendiculaire au plan du cercle ou inclinée, et l'angle *BAE* est toujours droit, car *AE* est perpendiculaire au plan du cercle *BD*

وبهذا التدبير نبين أن علامة ب إن كانت مائلة إلى خارج الدائرة فصار جـ ب في موضع جـ و، وانتقلت جـ على محيط الدائرة فإن جـ و يرى متساوياً من علامة آ، لأن زاوية جـ ا و أبداً بحال واحدة في العظم لا تضيق ولا تتسع؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– <مب> – وهنالك نبين أنه إن كانت الشرائط على ما قدمنا، وأقيم على مركز الدائرة الذي هو علامة آ عمود كخط ا ه، وفرض الناظر في موضع هـ، فإن عظم ب جـ إذا تحرك على محيط الدائرة بحركة خط ا ب بأن تكون آ ثابتة وب منتقلة، رئي متساوياً حيث كان من محيط الدائرة.

مثال ذلك: أن نفرض الدائرة دائرة ب د والعظم ب جـ والخط الخارج من مركزها إلى علامة ب خط ا ب، والعمود القائم على سطح الدائرة على مركزها عمود ا ه، كيف كان في الطول، وموضع الناظر علامة هـ. ونخرج من هـ خطين مستقيمين إلى ب وإلى جـ.

فأقول: إن خط ب جـ يُرى من علامة هـ حيث كانت ب من محيط الدائرة بقدر واحد لا زيادة ولا نقص.



برهان ذلك: أن زاوية ا ب جـ غير متبدلة كما فرضنا، حيث وقعت ب من محيط الدائرة، منفرجة كانت أو حادّة أو قائمة. و<سطح ب جـ ا عمود على سطح الدائرة>، عموداً كان خط ب جـ على سطح الدائرة أو مائلاً، وزاوية ب ا ه قائمة أبداً لأن ا ه عمود على مركز سطح دائرة

2 فإن: ان – 10 علامة: خط – 14 واحد: واحدة.

en son centre et le rayon qui entoure les deux extrémités B et C est suivant les droites EB et EC. L'angle EBA est donc <toujours> dans le même état, invariable, sans augmentation ni diminution, là où se trouve B sur la circonférence du cercle. L'angle EBC reste donc également invariable, sans augmentation ni diminution, là où B se trouve sur la circonférence du cercle et EB et BC restent toujours également invariables, là où B se trouve sur la circonférence du cercle. Par conséquent l'angle BEC est toujours constant, l'angle ECB est aussi inchangeable et aucun d'eux ne change, ni en augmentant ni en diminuant
93v là où B se trouve sur la circonférence du cercle. / Par conséquent <la grandeur de> BC sera toujours vue à partir de E sous un angle invariable, sans augmentation ni diminution, là où B se trouve sur la circonférence du cercle, soit l'angle BEC ; par conséquent BC est vue dans un même état, invariable, sans augmentation ni diminution, là où B se trouve sur la circonférence du cercle. Ce qu'il fallait démontrer.

– 43 – Si sur la circonférence d'un cercle il y a des grandeurs égales et parallèles et qui ne sont pas perpendiculaires au plan du cercle, alors l'œil les voit à partir du centre du cercle différentes dans l'une des deux moitiés du cercle, et avec la même différence dans l'autre moitié.

Exemple : Traçons le cercle, le cercle AB ; supposons la droite BC sur la circonférence du cercle, et supposons-la non perpendiculaire au plan du cercle AB, mais inclinée avec une certaine inclinaison. Elevons au centre du cercle une droite EF égale à la droite BC et qui lui est parallèle, et menons de F une perpendiculaire au plan du cercle, soit la droite FG ; menons la droite EG et prolongeons-la à partir de G jusqu'à ce qu'elle aboutisse à la circonférence du cercle au point A. Élevons de A une droite parallèle à la droite BC et qui lui est égale.

Je dis que la droite AD élevée sur l'extrémité du diamètre sur lequel est tombée la perpendiculaire FG est vue plus petite que la droite BC.

Démonstration : Les droites EF, BC, AD sont parallèles et égales, celles qui joignent leurs extrémités sont donc parallèles et égales. Par conséquent, la droite BE est égale à la droite CF et CE est un parallélogramme. De même EF est égale à AD et lui est parallèle, donc la

ب د، والشعاع المحيط بنهايتي ب ج عند خطي ه ب ه ج، فزاوية ه ب ا بحال واحدة غير متغيرة في عظم ولا صغر، حيث كانت ب من محيط الدائرة. فتبقى زاوية ه ب ج غير متغيرة أيضًا في عظم ولا صغر، حيث كانت <ب> من محيط الدائرة، وه ب ب ج سواءٌ غير مختلفين أبداً، حيث كانت ب من محيط الدائرة. فإذاً زاوية ب ه ج أبداً ثابتة وزاوية ه ج ب أيضًا غير متبدلة، ولا واحدة منهما في عظم ولا صغر، حيث كانت ب من محيط الدائرة. / فإذاً ب ج يرى من ه أبداً بزاوية واحدة ٩٣-ظ غير متغيرة في عظم ولا صغر، حيث كانت ب من محيط الدائرة وهي زاوية ب ه ج، فإذاً ب ج يرى بحال واحدة غير متغير في عظم ولا صغر، حيث كانت ب من محيط الدائرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- <مج> - إذا كانت على محيط دائرة أعظام متساوية متوازية ليست بأعمدة على سطح الدائرة، فإن البصر يراها من مركز الدائرة مختلفة في أحد نصفي الدائرة، ومثل ذلك الاختلاف في النصف الآخر.

مثال ذلك: أن نرسم الدائرة دائرة ا ب، ونفرض خط ب ج على محيط الدائرة ونفرضه ليس عموداً على سطح دائرة ا ب، بل منحرفًا انحرافًا ما، ونقيم على مركز الدائرة خط ه و مستقيمًا مساويًا خط ب ج وموازيًا له، ونخرج من و عموداً على سطح الدائرة، وهو خط و ز، ونخرج خط ه ز مستقيمًا ونخرجه من ز على استقامة حتى ينتهي إلى محيط الدائرة عند علامة آ. ونخرج على آ خطًا قائمًا موازيًا لخط ب ج ومساويًا له.

فأقول: إن خط ا د القائم على طرف القطر الذي وقع عليه عمود و ز يرى أصغر من خط <ب ج>.

برهان ذلك: أن خطوط ه و ب ج ا د متوازية متساوية، فالواصلة بين أطرافها متوازية متساوية. فإذاً خط ب ه مساوٍ خط ج و، وج ه متوازي الأضلاع. وكذلك ه و مساوٍ ا د <و>موازٍ له، فخط ا ه مساوٍ خط د و

4 ب ج: ب ه ج - 6 منهما: منها - 19 ونخرج على آ خطًا قائمًا: لا يقصد خطًا قائمًا على زوايا قائمة ولكن خطًا قائمًا مع انحراف. أثبت «نخرج» في الهامش - 25 وكذلك: ولذلك.

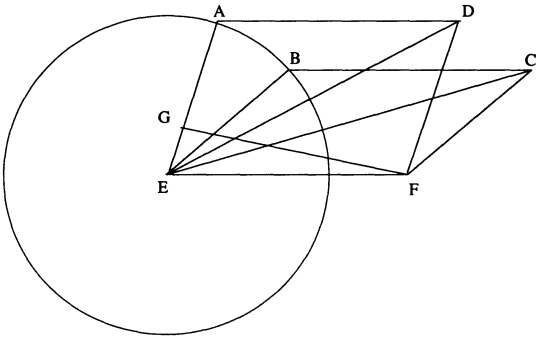
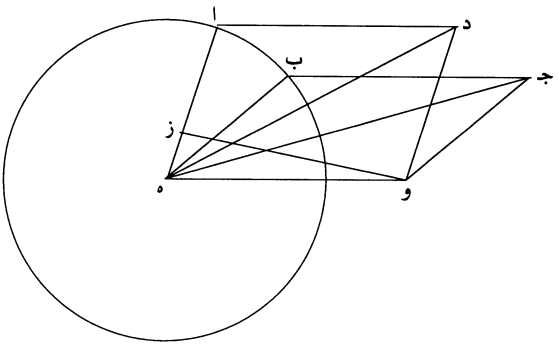


Fig. 43.1

droite *AE* est égale à la droite *DF*, ce sont celles qui joignent leurs extrémités. Joignons *ED* et *EC*. Supposons d'abord la droite *BC* plus grande que le demi-diamètre du cercle *AB*, traçons à côté du cercle *AB* un demi-cercle *HIJ* égal au demi-cercle *AB* dont la corde qui est le diamètre est la droite *HJ*, séparons la droite *HJ* en deux moitiés au point *K* qui est le centre, prolongeons la droite *KH* dans la direction de *H* jusqu'au point *L* et supposons *KL* égale à la droite *EF*. Mais l'angle *AEF* est le plus petit angle engendré à partir de la droite *EF* et d'une droite passant par le <point> *E*, donc l'angle *AEF* est plus petit que l'angle *BEF*. Élevons au point *K* sur la droite *LK* un angle égal à l'angle *FEB*, soit l'angle *LKI*, et un angle égal à l'angle *AEF*, soit l'angle *LKM*. Mais *I* est sur l'arc *HIJ* et *M* sur l'arc *HIJ*. Les deux droites *LK* et *KM* sont égales aux deux droites *EF* et *AE* et l'angle *MKL* est égal à l'angle *AEF*. Menons du <point> *M* une droite dans la direction de *L* égale et parallèle à la droite *KL*, soit la droite *MN*. Menons la droite *KN*, alors le quadrilatère *NK* est un parallélogramme égal au quadrilatère *DE*, car /
94r *AD* et *EF* sont parallèles et égales, et chacune d'elles est égale à l'une des droites *LK* et *MN* qui sont parallèles et égales ; c'est pourquoi chacune des deux droites *AE* et *DF* qui sont parallèles et égales, est égale à l'une des droites *MK* et *NL* qui sont parallèles et égales.



<وهما> الواصلان بين أطرافها. ونصل ه د وه جـ. ونفرض خط ب جـ أوّلاً أعظم من نصف قطر دائرة ا ب، ونرسم <في> ناحية من دائرة ا ب نصف دائرة عليها ح ط ي مساوياً لنصف دائرة ا ب، [ونرسم ناحية من دائرة ا ب] ووتره الذي هو القطر خط ح ي، ونفصل خط ح ي بنصفين على علامة ك التي هي المركز، ونخرج خط ك ح من جهة ح على استقامة إلى علامة ل، ونفرض ك ل مساوياً لخط ه و. وزاوية ا ه و أصغر زاوية تحدث من خط ه و وخط مستقيم يمرّ على ه، فزاوية ا ه و أصغر من زاوية ب ه و. ونقيم على علامة ك من خط ل ك زاوية مساوية زاوية و ه ب <وهي زاوية ل ك ط، وزاوية مساوية زاوية ا ه و> وهي زاوية ل ك م. وط من قوس ح ط ي وم من قوس ح ط ي. وخطا ل ك ك م مساويان لخطي ه و ا ه وزاوية م ك ل مساوية زاوية ا ه و. <و>نخرج من م خطاً مستقيماً في جهة ل مساوياً خط ك ل وموازياً له وهو خط م ن. ونخرج خط ك ن مستقيماً، فمربع ن ك متوازي الأضلاع مساوٍ لمربع د هـ، لأن / ا د وه و ٩٤-و المتوازيين المتساويين، مساوٍ كل واحد منهما خطي ل ك م ن المتوازيين المتساويين؛ ولذلك خطا ا ه د و المتوازيان المتساويان مساوٍ كل واحد منهما لكل واحد من خطي م ك ن ل المتوازيين المتساويين.

1 الواصلان: الواصلين – 5 إل: االى – 6 ا ه و: ا ه – 10 ح ط ي: ح ط / وخطا: فخطا – 10-11 ه و ا ه: ا ه ه و – 12 م ن: في هذا الجزء من المخطوطة يخلط الناسخ بين الحروف الهندسية وخاصة النون والزاي ولن نثبتها – 16 منهما: منها.

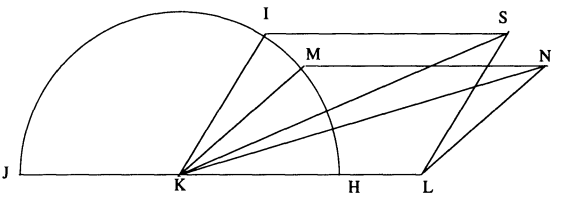


Fig. 43.2

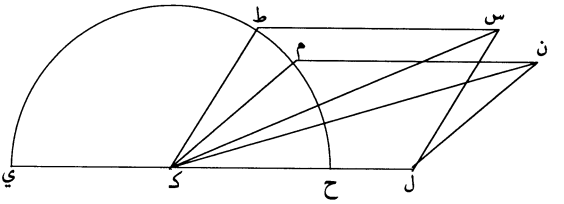
Par ce procédé, nous montrons que si nous menons de *I* dans la direction de *L* une droite égale à la droite *LK* et qui lui est parallèle, soit la droite *IS,* et si nous menons la droite *LS*, alors la droite *SL* sera égale à la droite *IK* et lui sera parallèle, et le quadrilatère *SK* sera un parallélogramme égal au quadrilatère *EBCF* et lui sera semblable car *BC* est égale à *IS* qui est égale à *KL* et *FC* est égale à *SL* et *BE* est égale à *IK*. Menons les deux diagonales *SK* et *NK*. Mais l'angle *IKL* est plus grand que l'angle *LKM*, c'est pourquoi la moitié est plus grande que la moitié[115], donc l'angle *IKS* est plus grand que l'angle *MKN*. Mais l'angle *AED* est égal à l'angle *MKN,* / l'angle *BEC* est égal à l'angle *IKS* et l'angle *IKS* est plus grand que l'angle *MKN*, donc l'angle *BEC* est plus grand que l'angle *AED*. La droite *BC* sera vue sous l'angle *BEC*, le plus grand, et la droite *AD* sera vue sous l'angle *AED* le plus petit, la droite *AD* sera donc vue plus petite que la droite *BC*. Ce qu'il fallait démontrer.

De même, supposons la droite *BC* égale au demi-diamètre du cercle qui est *BE*.

Je dis que ceci se produit également, c'est-à-dire que la droite *AD* sera vue plus courte que la droite *BC*.

Démonstration : Retraçons le demi-cercle et supposons que la droite *JK* est égale à la droite *IS*, le quadrilatère *IL* est donc un losange[116], et le quadrilatère *KN* est un losange[117] et l'angle *IKL* est plus grand que l'angle *MKL*, donc l'angle *IKS* est plus grand que l'angle *MKN* ; mais l'angle *IKS* est égal à l'angle *BEC,* comme nous l'avons montré, et

[115] Voir note complémentaire.
[116] Dans le texte : parallélogramme.
[117] Dans le texte : parallélogramme



وبهذا التدبير نبين أنا إذا أخرجنا من ط في جهة ل خطًا مستقيمًا مساويًا لخط ل ك وموازيًا له، وهو خط ط س، وأخرجنا خط ل س مستقيمًا، كان خط س ل مساويًا خط ط ك وموازيًا له؛ ومربع س ك متوازي الأضلاع مساوٍ مربع ه ب جـ و ومشابه له، لأن ب جـ مثل ط س وهو مثل ك ل وو جـ مثل س ل وب ه مثل ط ك. ونخرج قطري س ك ن ك. وزاوية ط ك ل أعظم من زاوية ل ك م، ولذلك النصف أعظم من النصف، فزاوية ط ك س أعظم من زاوية م ك ن؛ وزاوية ا ه د مساوية زاوية م ك ن وزاوية ب ه جـ مساوية زاوية ط ك س، وزاوية ط ك س أعظم من زاوية م ك ن، فزاوية ب ه جـ أعظم من زاوية ا ه د. وخط ب جـ يرى بزاوية ب ه جـ العظمى، وخط ا د يرى بزاوية ا ه د الصغرى، فخط ا د يرى أصغر من خط ب جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

وأيضًا نفرض خط ب جـ مساويًا لنصف قطر الدائرة الذي هو ب ه.

فأقول: إنه كذلك يعرض، أعني أن خط ا د يرى أقصر من خط ب جـ.

برهان ذلك: أنا نعيد نصف الدائرة، ونفرض خط ي ك مساويًا خط ط س، فمربع ط ل متوازي الأضلاع ومربع ك ن متوازي الأضلاع، وزاوية ط ك ل أعظم من زاوية م ك ل، فزاوية ط ك س أعظم من زاوية م ك ن؛ وزاوية ط ك س مساوية زاوية ب ه جـ، كما قدمنا، وزاوية ا ه د مساوية

6 وزاوية: فزاوية – 7 وزاوية: فزاوية – 8 وزاوية (الأولى): فزاوية – 18 ا ه د: ا ه جـ.

l'angle *AED* est égal à l'angle *MKN*, comme précédemment. Par conséquent la droite *AD* sera vue sous l'angle *AED* le plus petit et la droite *BC* sera vue sous l'angle *BEC* le plus grand, par conséquent la droite *AD* sera vue à partir de *E* plus petite que la droite *BC*. Ce qu'il fallait démontrer.

Supposons la droite *BC* plus courte que le demi-diamètre du cercle qui est *BE*.

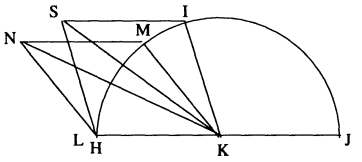


Fig. 43.3

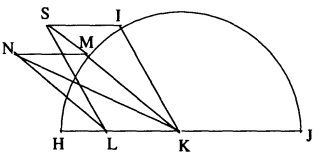


Fig. 43.4

Je dis qu'il se produit l'analogue de cela, c'est-à-dire que *AD* sera vue plus petite que la droite *BC*.

Démonstration : Retraçons le demi-cercle et supposons que la droite *IS* est plus petite que son demi-diamètre, et qu'elle est parallèle à la droite *KL* ; le quadrilatère *KISL* est un parallélogramme et *IS* est égale à *KL*. De même *NM* est égale à *KL*, donc le quadrilatère *NMKL* est un parallélogramme et l'angle *IKL* est plus grand que l'angle *MKL* ; par conséquent l'angle *IKS* est plus grand que l'angle *MKN*[118]. Mais l'angle *IKS* est égal à l'angle *BEC*, d'après ce qui précède, et l'angle *MKN* est égal à l'angle *AED*, d'après ce qui précède. La droite *AC* sera donc vue sous l'angle *AED* le plus petit et la droite *BC* sera vue sous l'angle *BEC* le plus grand, donc la droite *AD* sera vue à partir de *E* plus petite que la droite *BC*. Ce qu'il fallait démontrer. /

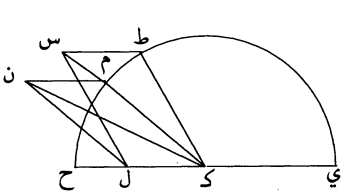
94v – 44 – Il peut exister pour l'œil une ligne sur laquelle il se déplace et à partir de laquelle il voit le visible, si celui-ci est fixe, d'une même grandeur qui n'augmente ni ne diminue.

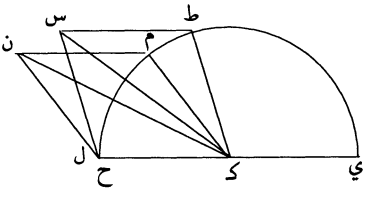
Exemple : Supposons le visible dans la position de la droite *AB*, supposons l'œil dans la position de *C* ; menons les deux droites *AC* et *BC* et traçons sur l'angle *ACB* un cercle.

118 Voir note complémentaire.

زاوية م كـ ن كما قدمنا. فإذاً خط ا د يرى بزاوية ا ه د الصغرى وخط ب جـ يرى بزاوية ب ه جـ الكبرى، فإذاً خط ا د يرى من هَ أصغر من خط ب جـ؛ وهو ما أردنا أن نبين.

ونفرض خط ب جـ أقصر من نصف قطر الدائرة الذي هو ب ه.





فأقول: إنه يعرض مثل ذلك، أعني أن ا د يرى أصغر من خط ب جـ.

برهان ذلك: أن نعيد نصف الدائرة، ونفرض خط ط س أصغر من نصف قطرها وهو موازٍ خط كـ ل، فمربع كـ ط س ل متوازي الأضلاع، وط س مساوٍ كـ ل. وكذلك ن م مساوٍ كـ ل، فمربع ن م كـ ل متوازي الأضلاع، وزاوية ط كـ ل أعظم من زاوية م كـ ل؛ فإذاً زاوية ط كـ س أعظم من زاوية م كـ ن. وزاوية ط كـ س مساوية لزاوية ب هـ جـ، كما قدمنا، وزاوية م كـ ن مساوية زاوية ا ه د، كما قدمنا. فخط ا جـ يرى بزاوية ا ه د الصغرى وخط ب جـ يرى بزاوية ب ه جـ الكبرى، فخط ا د يرى من هَ أصغر من خط ب جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبين. /

- ‹مد› - قد يوجد للبصر خط يسلك عليه يرى منه المبصر، إذا كان ٩٤-ظ ثابتًا، بقدر واحد لا يزيد ولا ينقص.

مثال ذلك: أن نفرض المبصر في موضع خط ا ب، ونفرض البصر في موضع جـ، ونخرج خطي ا جـ ب جـ مستقيمين، ونخطّ على زاوية ا جـ ب دائرة.

1 ا ه د: ا د ه - 7 كـ ط س ل: كـ ط س ع، أبدل الناسخ لَ بـ عَ ابتداءً من هنا، وآثرنا الاحتفاظ بـ لَ - 9 م كـ ل: م كـ م.

Je dis que l'œil voit *AB* d'une même grandeur sans augmenter ni diminuer, de là où il se déplace sur l'arc *BCA*.

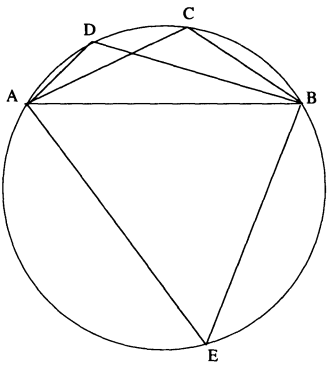
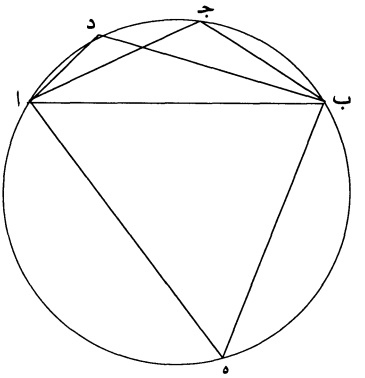


Fig. 44

Démonstration : Puisque les angles <dont les sommets> tombent sur l'arc *BCA* et dont la base est *AB* sont tous égaux, alors là où l'œil se trouve sur l'arc *BCA*, les deux extrémités du rayon menées à partir de lui aux points *A* et *B* forment des angles égaux. Les deux droites menées de *C* jusqu'à *B* et *A* entourent en effet l'angle *BCA*. Si l'œil se déplace sur l'arc *BCA* jusqu'au point *D*, alors les deux droites menées de *D* à *B* et *A* entourent l'angle *BDA*, et l'angle *BDA* est égal à l'angle *BCA*, car ils sont dans le même segment de cercle et leur base est la droite *AB*. La droite *AB* est vue à partir du point *C* sous l'angle *BCA* et à partir du point *D* sous l'angle *BDA*, angles qui sont égaux. La droite *AB* est donc vue à partir du point *C* égale à elle-<même> si elle est vue du point *D*, et de même à partir de là où l'œil est sur l'arc *DA*. S'il se déplace sur l'arc *AEB* et si l'arc *AEB* est plus grand que l'arc *BCA*, elle sera vue à partir de l'arc *AEB* tout entier, <toujours> égale, mais plus petite que ce qui est vu à partir de l'arc *BCA*, car l'angle qui est dans le grand segment de la circonférence est plus petit que l'angle qui est dans le petit segment de la circonférence du cercle s'ils ont pour base une même droite.

<فأقول: إن> البصر حيث سلك من قوس ب جـ آ، رأى آ ب بقدر واحد لا يزيد ولا ينقص.



<برهان ذلك:> لأن الزوايا التي تقع على قوس ب جـ آ وقاعدتها آ ب كلها متساوية، فحيث كان البصر من قوس ب جـ آ، فإن نهايتي الشعاع الخارجتين منه إلى علامتي آ ب تفعلان زوايا متساوية. فالخطان المستقيمان الخارجان من جـ إلى ب وآ فإنهما يحيطان بزاوية ب جـ آ. وإن انتقل البصر من قوس ب جـ آ إلى علامة د، فإن الخطين المستقيمين الخارجين من د إلى ب وإلى آ يحيطان بزاوية ب د آ، وزاوية ب د آ مساوية زاوية ب جـ آ لأنهما في قطعة واحدة من الدائرة وقاعدتهما خط آ ب. فخط آ ب يرى من علامة جـ بزاوية ب جـ آ ومن علامة د بزاوية ب د آ المتساويتين. فخط آ ب يرى من علامة جـ مساويًا له إذا أبصر من علامة د، وكذلك حيث كان البصر من قوس د آ. فإن انتقل إلى قوس آ ه ب وكانت قوس آ ه ب أكبر من قوس ب جـ آ، رئي من جميع <قوس> آ ه ب متساويًا وأصغر مما يرى من قوس ب جـ آ، لأن الزاوية التي في القطعة العظمى من المحيط أصغر من الزاوية التي في القطعة الصغرى من محيط الدائرة إذ كانت قاعدتهما خط واحد.

1 البصر: فالبصر – 5 الخارجتين: الخارجين – 16 واحد: واحدة.

Inversement, si l'arc *AEB* est plus petit que l'arc *BCA*, la droite *AB* sera vue à partir de l'arc *AEB* plus grande que quand elle est vue à partir de l'arc *BCA* ; cependant elle sera vue égale à partir de l'arc *BCA* tout entier, et sera vue égale à partir de l'arc *AEB* tout entier. Ce qu'il fallait démontrer.

– 45 – Dès lors, nous montrons que si le visible est dressé perpendiculairement à un plan parallèle au plan de l'horizon, alors l'œil a dans ce plan parallèle au plan de l'horizon une ligne telle que s'il se meut sur elle, il voit le visible toujours dans un même état de grandeur, sans augmenter ni diminuer.

Exemple : Supposons le visible dans la position de la droite *AB* dressée perpendiculairement à un plan parallèle à l'horizon au point *B*, et marquons *C* dans l'une quelconque des directions à partir de *B*. Traçons à partir de *B*, à la distance de *C*, le cercle *CD*, et menons la droite *BC* et la droite *AC*.

Je dis que l'œil, quel que soit son mouvement sur la circonférence du cercle *CD*, voit la grandeur *AB* d'une grandeur égale, sans qu'elle change ni en augmentant ni en diminuant.

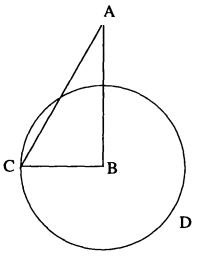


Fig. 45

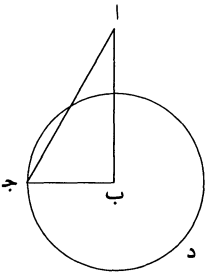
Démonstration : Les droites menées de *B* jusqu'à la circonférence du cercle sont toutes égales et l'angle *ABC* est droit, et tout angle engendré à partir de la droite *AB* et d'une droite menée jusqu'à la circonférence du
95r cercle / est droit ; par conséquent la droite *AC* ne change jamais, sans augmentation ni diminution. Les angles du triangle *ABC* sont donc dans un même état, sans changement, là où <le point> *C* est sur la circonférence du cercle. Par conséquent l'angle *ACB* est sans changement, ni par augmentation ni par diminution. Mais la droite *AB* est vue sous

وبالعكس فإن قوس ا ه ب إن كانت أصغر من قوس ب جـ ا، رئي خط ا ب من قوس ا ه ب أعظم مما يرى من قوس ب جـ ا، إلا أنه من قوس ب جـ ا كلها يرى متساوياً ومن قوس ا ه ب كلها متساوياً؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

5 – <مه> – وهنالك نبين أن المنظور إليه إذا كان قائمًا عموداً على سطح موازٍ لسطح الأفق، فإن للبصر خطًا في ذلك السطح الموازي للأفق إذا تحرك عليه، رأى المنظور إليه أبداً بحال واحدة في القدر لا يزيد ولا ينقص.

مثال ذلك: أن نفرض المنظور إليه في موضع خط ا ب قائمًا عموداً على
10 سطح موازٍ للأفق على علامة ب، ونتعلم جـ في جهة من جهات ب كيف وقعت، ونخطّ على ب وببعد جـ د دائرة جـ د، ونخرج خط ب جـ مستقيماً وخط ا جـ مستقيماً.

فأقول: إن البصر كيف تحرك من محيط دائرة جـ د، رأى عظم ا ب واحداً في القدر غير متبدل لا إلى أعظم ولا إلى أصغر.



15 برهان ذلك: أن الخطوط التي تخرج من ب إلى محيط الدائرة كلها متساوية، وزاوية ا ب جـ قائمة، وكل زاوية تحدث من خط ا ب المستقيم ومن خط مستقيم يخرج إلى محيط الدائرة / فهي قائمة؛ فإذاً خط ا جـ ٩٥-و
أبداً غير متبدل <لا> إلى عظم ولا إلى صغر. فزوايا مثلث ا ب جـ على حال واحد غير متبدلة، حيث كانت جـ من محيط الدائرة. فإذاً زاوية
20 ا جـ ب غير متبدلة <لا> إلى عظم ولا إلى صغر. وخط ا ب يرى بزاوية

l'angle *ACB*, par conséquent la droite *AB* est vue de tout <point de> la circonférence du cercle tout entier sous un même angle qui est l'angle *BCA*. Elle est donc vue toujours d'une même grandeur car l'angle *BCA*, là où il se trouve sur la circonférence du cercle, est toujours d'une même grandeur sans changement. Ce qu'il fallait démontrer.

– 46 – On peut trouver dans un même plan des positions <de l'œil> telles que le visible dans ce plan sera perçu à partir de l'une d'elles plus grand que lorsqu'il est perçu à partir d'une autre, ou sera perçu plus petit, et on trouve des positions à partir desquelles il sera perçu égal, sans être plus grand à partir des unes ni plus petit à partir des autres.

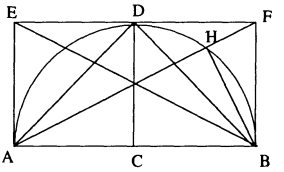


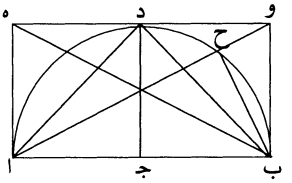
Fig. 46

Exemple : Que le visible soit la droite *AB*. Partageons la droite *AB* en deux moitiés au point *C* ; traçons par le point *C* et à la distance *CA* ou *CB* un demi-cercle *ADB* et élevons au point *C* une perpendiculaire que nous supposons aboutir à la circonférence du demi-cercle, soit la perpendiculaire *CD* ; dressons aux points *A* et *B* les deux droites *AE*, *FB* égales et parallèles à une même droite[119] et supposons-les dans le plan du demi-cercle *ADB*. Faisons passer par le point *D* une droite parallèle à la droite *ACB*, soit la droite *EDF*, le quadrilatère *ABEF* est donc un parallélogramme dans le plan du demi-cercle *ADB*. Menons de *B* jusqu'à *E* et de *A* jusqu'à *F* deux droites et marquons là où la droite *AF* a coupé l'arc *BD* le point *H* ; menons la droite *BH* et menons les deux droites *AD* et *BD*. L'angle *ADB* est droit car il est dans un demi-cercle, l'angle *AHB* est droit car il est dans un demi-cercle et l'angle *AHB* du triangle *AHB* est plus grand que l'angle *AFB* du triangle *AFB*, car l'angle *AHB* est extérieur au triangle *HFB*. Mais l'angle *AHB* est égal à l'angle *ADB*, donc

[119] Il sous-entend *CD*. Voir note complémentaire.

آ جـ ب، فـإذاً خط آ ب يرى من جـميع محيط الدائرة بزاوية واحـدة هي زاويـة ب جـ آ؛ فـهـو يـرى أبداً إذاً بقـدر واحـد، لأن زاوية ب جـ آ حيث كـانت من محيط الدائرة، بقدر واحد غير متبدلة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

5 – مو – قـد توجـد مـواضع في السطح الواحد يحسّ المبصـر في ذلك السطح من أحـدها أعظم مما يحسّ من غـيرها منها أو يـكون الذي يحسّ منها أصغر، وتوجد <مواضع يحسّ منها> متساوياً ليس في بعضها أعظم وفي بعضها أصغر.



مثال ذلك: أن يكون المبصر خط آ ب. ونقسم خط آ ب بنصفين على 10 علامة جـ، ونخطّ على علامة جـ وببعد جـ آ أو جـ ب نصف دائرة آ د ب، ونقيم على علامة جـ عموداً نفرضه منتهياً إلى محيط نصف الدائرة وهو عمود جـ د، ونقيم على علامتي آ وب خطي آ ه و ب متساويين وموازيين لخط واحد، ونفرضهما في سطح <نصف> دائرة آ د ب. ونجيز على علامة د خطاً مستقيماً موازياً خط آ جـ ب، وهو خط ه د و. فمربع آ ب ه و 15 متوازي الأضلاع في سطح <نصف> دائرة آ د ب. ونخرج من ب إلى ه ومن آ إلى و خطين مستقيمين، ونتعلم حيث قاطع خط آ و قوس ب د علامة ح، ونخرج خط ب ح مستقيماً، ونخرج خطي آ د ب د مستقيمين. فزاوية آ د ب – لأنها في نصف دائرة – قائمة، وزاوية آ ح ب قائمة لأنها في نصف الدائرة، وزاوية آ ح ب من مثلث آ ح ب أعظم من زاوية آ و ب 20 من مثلث آ و ب، لأن زاوية آ ح ب خارجة عن مثلث ح و ب. وزاوية آ ح ب مساوية لزاوية آ د ب، فـزاوية آ د ب أعظم من زاوية آ و ب.

2 لأن: اد – 6 أو: و – 7 وتوجد: يوجده – 10 أو: و – 12 وموازيين: ومتوازيين – 13 ونفرضهما: ونفرضها – 20 وزاوية: فاذا زاوية.

l'angle *ADB* est plus grand que l'angle *AFB*. Mais l'angle *AFB* est égal à l'angle *AEB*, par conséquent l'angle *ADB* est aussi plus grand que l'angle *AEB*. Mais les deux angles *AEB* et *BFA* sont égaux et la droite *AB* est vue à partir du point *F* sous l'angle *AFB* et à partir du point *E* sous l'angle *AEB*, angles qui sont égaux ; par conséquent la droite *AB* est vue, à partir des deux points *E* et *F*, dans un même état sans qu'elle change par diminution ou par augmentation. Or à partir du point *D* la droite *AB* est
95v vue sous un angle *ADB* qui est plus grand / que chacun des deux angles *AEB* et *AFB*, par conséquent la droite *AB* est vue à partir de *D* plus grande qu'elle n'est vue à partir de *E* ou de *F*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 47 – On peut trouver une position commune[120] à partir de laquelle la pupille regarde des grandeurs égales, contiguës sur une droite, et les perçoit inégales, et il se trouve aussi une ligne telle que si on regarde ces grandeurs égales à partir de chacun de ses points, elles seront vues égales.

Exemple : Supposons que les deux grandeurs égales soient dans les deux positions des droites *AB* et *BC* contiguës. Menons la droite *BD* perpendiculaire au point *B* de la droite *AC*. Supposons *E* dans une position quelconque, supposons-le entre les deux points *D* et *C*. Menons les deux droites *EC* et *EA*, circonscrivons au triangle *AEC* un cercle et supposons aussi *D* sur la circonférence du cercle. Prolongeons *DB* à partir de *B* jusqu'au point *F* sur la circonférence du cercle, prolongeons la droite *EB* et prolongeons-la à partir de *B* jusqu'au point *G* sur la circonférence du cercle.

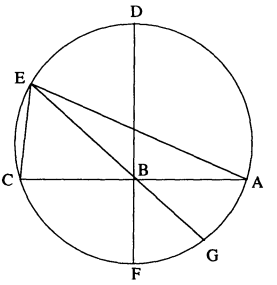


Fig. 47

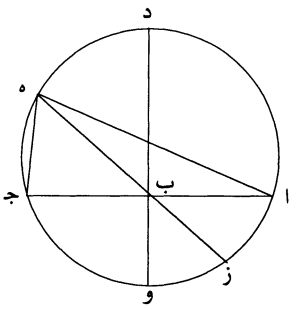
[120] C'est-à-dire une position à partir de laquelle l'œil regarde deux grandeurs.

وزاوية ا و ب مساوية لزاوية ا ه ب؛ فإذاً زاوية ا د ب أعظم أيضًا من زاوية ا ه ب. وزاويتا ا ه ب ب و ا متساويتان، وخط ا ب يبصر من علامة و بزاوية ا و ب ومن علامة ه بزاوية ا ه ب المتساويتين، فإذاً خط ا ب يرى من علامتي ه و بحال واحدة غير متبدل <لا> إلى صغر ولا إلى كبر.

فأما من علامة د، فإنه يبصر خط ا ب بزاوية ا د ب التي هي أعظم / من ٩٥-ظ كل واحدة من زاويتي ا ه ب ا و ب، فإذاً خط ا ب يبصر من د أعظم مما يبصر من ه ومن و؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– مز – قد يوجد موضع مشترك ينظر منه الناظر إلى أقدار متساوية متصلة على خط مستقيم، فيراها مختلفة، ويوجد أيضًا خط ينظر من كل علامة منه إلى تلك الأقدار المتساوية فترى متساوية.

مثال ذلك: أن نفرض القدرين المتساويين موضعي خطي ا ب ب جـ متصلين على استقامة، ونخرج خط ب د عمودًا على علامة ب من خط ا جـ، ونفرض ه في أي موضع شئنا، فنفرضها فيما بين علامتي د جـ، ونخرج خطي ه جـ ه ا مستقيمين، ونخطّ على مثلث ا ه جـ دائرة، ونفرض د من محيط الدائرة أيضًا، ونخرج د ب من ب على استقامة إلى علامة و من محيط الدائرة، ونخرج خط ه ب مستقيمًا ونخرجه من ب على استقامة إلى علامة ز من محيط الدائرة.



14 ه جـ ه ا: ه جـ ب جـ ه ا.

Je dis que les deux grandeurs *BC* et *BA* vues de *E* apparaissent de grandeurs inégales.

Démonstration : L'angle *DBC* est droit, donc l'angle *EBC* est plus petit qu'un droit, il reste l'angle *EBA* plus grand qu'un droit, donc la droite *EC* est plus petite que la droite *EA* ; mais les droites *BC*, *BE* et *BA* sont égales[121], par conséquent l'angle *ECB* qui intercepte l'arc *EDA* est plus grand que l'angle *EAB* qui intercepte l'arc *EC* le plus petit mais l'angle *AEB* est égal à l'angle *EAB*, donc l'angle *AEB* est plus petit que l'angle *CEB*[122], par conséquent la droite *CB* apparaît plus grande que la droite *BA* car elle est vue sous le grand angle *BEC*, alors que *AB* est vue sous le petit angle *AEB*. De même, à partir de tout point qui se trouve sur la circonférence du cercle *ADCF*, *AB* et *BC* apparaissent inégales, à l'exception des points *D* et *F*. L'angle *CBD* est en effet égal à l'angle *ABD*, donc les droites *AD* et *DC* sont égales puisque les droites *BC*, *BD* et *BA* sont égales[123] ; les deux triangles *CBD* et *ABD* sont égaux et semblables, chacun des côtés étant égal à son homologue et chaque angle à son homologue, donc les angles *ADB* et *CDB* sont égaux ; mais *BC* est vue à partir de *D* sous l'angle *BDC* et *BA* est vue à partir de *D* sous
96r l'angle *BDA*, donc *BC* et *BA* sont vues à partir de *D* / sous des angles égaux, donc elles apparaissent égales à partir de *D*. Par ce procédé, on montre que *CB* et *BA* apparaissent égales à partir de *F*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 48– <a> Dès lors, on montre qu'on peut également trouver une position commune dans un plan parallèle à l'horizon telle que si la pupille s'y trouve, elle voit égales des perpendiculaires à ce plan parallèle à l'horizon, qui sont égales.

Exemple : Supposons les deux perpendiculaires à un plan parallèle à l'horizon dans la position des deux droites *AB* et *CD* ; supposons *A* et *C* dans ce plan et menons une droite de *A* à *C* ; les deux angles *BAC* et *DCA* sont donc égaux et droits. Partageons la droite *AC* en deux moitiés au point *E* et menons de celui-ci une perpendiculaire, soit la droite *EF*. Les deux angles *FEA* et *FEC* sont donc égaux.

---

[121] Ceci suppose *E* sur le cercle de diamètre *AC*, ce qui ne correspond pas à l'énoncé qui suppose *E* quelconque.

[122] Voir note complémentaire.

[123] Ceci suppose encore que le cercle considéré a pour diamètre *AC*.

فأقول: إن هَ ينظر منها إلى عظمي ب جـ ب آ، فيريان مختلفي الأقدار.
برهان ذلك: أن زاوية د ب جـ قائمة، فزاوية ه ب جـ أصغر من قائمة، وتبقى زاوية ه ب آ أعظم من قائمة، فخط ه جـ أصغر من خط ه آ؛ وخطوط ب جـ ب ه ب آ متساوية، فإذاً زاوية ه جـ ب التي توترها قوس ه د آ أعظم من زاوية ه آ ب <التي توترها قوس ه جـ الصغرى وزاوية آ ه ب مساوية لزاوية ه آ ب>، فزاوية آ ه ب أصغر من زاوية جـ ه ب، فخط جـ ب يرى أعظم من خط ب آ لأنه يرى بزاوية ب ه جـ العظمى وآ ب يرى بزاوية آ ه ب الصغرى. وكذلك كل علامة وقعت على محيط دائرة آ د جـ و يرى منها آ ب ب جـ مختلفين إلا من علامتي دَ وو. فإن زاوية جـ ب د مساوية زاوية آ ب د، فخطا آ د د جـ المستقيمان متساويان لأن خطوط ب جـ ب د ب آ متساوية، فمثلثا جـ ب د آ ب د متساويان ومتشابهان، كل ضلع مثل نظيره وكل زاوية مثل نظيرتها، فزاويتا آ د ب جـ د ب متساويتان، وب جـ يرى من دَ بزاوية ب د جـ، وب آ يرى من دَ بزاوية ب د آ، فـ ب جـ ب آ يريان / من دَ بزاويتين متساويتين، فهما ٩٦-و يريان من دَ متساويين. وبهذا التدبير تبيّن أن جـ ب وب آ يريان من وَ متساويين؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- <مح> - وهنالك تبيّن أنه قد يوجد أيضًا موضع مشترك من السطح الموازي للأفق إذا كان فيه الناظر رأى الأعمدة المتساوية القائمة على ذلك السطح الموازي للأفق متساوية.

مثال ذلك: أن نفرض العمودين القائمين على السطح الموازي للأفق موضع خطي آ ب وجـ د المستقيمين، ونفرض آ وجـ في ذلك السطح، ونخرج خطًا مستقيمًا من آ إلى جـ، فزاويتا ب آ جـ د جـ آ متساويتان قائمتان، ونفصل خط آ جـ بنصفين على علامة هَ، ونخرج منها خطًا مستقيمًا عمودًا وهو خط ه و، فزاويتا و ه آ و ه جـ متساويتان.

2 ه ب جـ: ب جـ ا - 3 ه ب آ: ه ب - 4 ه د آ: ه د - 9 إلا مـن: الا ان - 23 ونفصل: ونصل.

Je dis que si la pupille regarde d'une position quelconque de la droite *EF*, elle voit les deux perpendiculaires *AB* et *CD* égales.

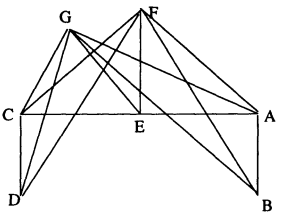


Fig. 48

Démonstration : La droite *EF* est commune, donc les droites *FE* et *EA* sont égales aux droites *FE* et *EC* et les deux angles *FEA* et *FEC* sont égaux ; donc les droites *FA* et *FC* sont égales. Mais les deux angles *FAB* et *FCD* sont égaux, car ils sont droits ; puisque *AB* et *CD* sont deux perpendiculaires au plan *AFC*, par conséquent les deux droites *FA* et *AB* sont égales aux deux droites *FC* et *CD* et les deux angles *FAB* et *FCD* sont égaux, donc les deux droites *DF* et *BF* sont égales, donc les deux triangles *FAB* et *FCD* sont égaux et semblables, les deux angles *AFB* et *CFD* sont égaux car chacun des angles de l'un des triangles est égal à son homologue de l'autre. Les droites *AB* et *CD* sont vues sous deux angles égaux, elles apparaissent donc égales à partir de *F*. De même de tout point de la droite *EF* où on suppose la pupille, elles apparaissent égales car le procédé est le même.

<b> Pour toutes les positions extérieures à la droite *EF* et à sa direction[124], à partir desquelles on les regarde, <les deux droites> apparaissent inégales.

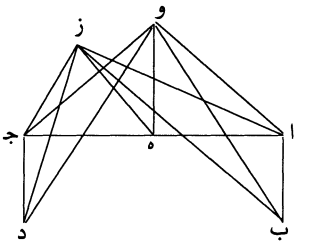
Exemple : Supposons que l'un de ces points est le point *G*, et supposons qu'il n'est ni sur la droite *EF*, ni sur sa direction ; menons de *G* une droite jusqu'à *E* et menons les deux droites *GC* et *GA* et les deux droites *GB* et *GD*. /

96v Je dis qu'à partir de *G* les deux perpendiculaires *AB* et *CD* apparaissent inégales.

Démonstration : L'angle *GEC* est plus petit que l'angle *FEC*, il reste l'angle *GEA* plus grand que l'angle *GEC*, *GE* est commun, et les droites

[124] C'est-à-dire la droite *EF* tout entière.

فأقول: إن كل موضع من خط ه و نظر منه الناظر، رأى عمودي ا ب جـ د متساويين.



برهان ذلك: أن خط ه و مشترك، فخطا و ه ه ا مساويان لخطي و ه ه جـ، وزاويتا و ه ا و ه جـ متساويتان، فخطا و ا و جـ متساويان. وزاويتا و ا ب و جـ د متساويتان، لأنهما قائمتان، لأن عمودي ا ب جـ د قائمان على سطح ا و جـ؛ فإذاً خطا و ا ا ب مساويان لخطي و جـ جـ د، وزاويتا و ا ب و جـ د متساويتان، فخطا د و ب و متساويان، فمثلثا و ا ب و جـ د متساويان متشابهان، فزاويتا ا و ب جـ و د متساويتان، لأن كل زاوية من أحد المثلثين مثل نظيرتها من الآخر. فخطا ا ب جـ د يريان بزاويتين متساويتين، فهما يريان من و متساويين. وكذلك من أيّ علامة فرض الناظر من خط ه و، يريان متساويين لأن التدبير واحد.

فأما المواضع جميعًا التي ينظر منها إليهما الخارجة عن خط ه و وسمته في الجهات، فإنهما يريان مختلفين.

مثال ذلك: أن نفرض إحدى تلك العلامات علامة ز، ونفرضها ليست على خط ه و، ولا على سمته، ونخرج من ز خطًا إلى ه مستقيمًا، ونخرج خطي ز جـ ز ا مستقيمين وخطي ز ب ز د مستقيمين. /

٩٦-ظ

فأقول: إن عمودي ا ب جـ د يريان من ز مختلفين.

برهان ذلك: أن زاوية ز ه جـ أصغر من زاوية و ه جـ، فتبقى زاوية ز ه ا أعظم من زاوية ز ه جـ، وز ه مشترك، وخطا ز ه ه جـ مساويان لخطي ز ه

4 وزاويتا: فزاويتا – 6 ا و جـ: ا و د – 7 د و ب و: ا و ر حـ – 13 فإنهما: فانها – 14 إحدى: احد – 19 وخطا: فخطا.

GE et *EC* sont égales aux droites *GE* et *EA* ; mais l'angle *GEC* est plus petit que l'angle *GEA*, donc la droite *GC* est plus petite que la droite *GA*. Mais *AB* est perpendiculaire à la droite *GA*, alors le rapport de la droite *GB* à la droite *AB* est plus grand que le rapport de la droite *GD* à la droite *CD*[125], donc l'angle *GBA* est plus grand que l'angle *GDC* et le rapport de l'angle *GBA* à l'angle *BGA* est plus grand que le rapport de l'angle *CDG* à l'angle *CGD*, donc le rapport de l'angle *AGB* à l'angle droit est plus petit que le rapport de l'angle *CGD* à <l'angle> droit, par conséquent l'angle *AGB* est plus petit que l'angle *CGD*, donc la droite *AB* est vue de *G* plus petite que la droite *CD*. Le procédé pour toutes les positions sur la droite *EG* ou sa direction est comme le procédé pour le point *G*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 49 – Trouver une position à partir de laquelle deux grandeurs inégales, dans le même plan que la pupille et sur une même droite, apparaissent égales.

Supposons que les deux grandeurs de la droite *AB* sont les deux grandeurs *AC* et *DB* et traçons sur la droite *AD* un demi-cercle et sur la droite *BC* un demi-cercle du même côté, soit les deux arcs *AED* et *CEB*. Donc *E* est un point commun aux arcs *AED* et *CEB*.

Je dis que si on regarde du point *E*, les deux grandeurs *AC* et *BD* qui sont inégales, elles seront vues égales[126].

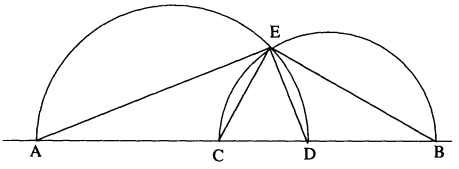


Fig. 49

Démonstration : L'arc *AED* est capable d'un angle égal à l'angle dont l'arc *CEB* est capable. Menons les deux droites *EC* et *ED*, donc l'angle *AED* dans l'arc *AED* est égal à l'angle *CEB* dans l'arc *CEB*. On enlève

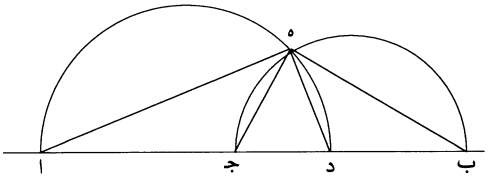
[125] Voir note complémentaire.
[126] Voir note complémentaire.

ه آ؛ وزاوية ز ه جـ أصغر من زاوية ز ه آ، فخط ز جـ أصغر من خط ز آ. وآ ب عمود على خط ز آ، <فنسبة خط ز ب> إلى خط آ ب أعظم من نسبة خط ز د إلى خط جـ د، فزاوية ز ب آ أعظم <من زاوية ز د جـ، و>نسبة <زاوية ز ب آ> إلى زاوية ب ز آ <أعظم> من نسبة زاوية جـ د ز إلى زاوية جـ ز د، فنسبة زاوية آ ز ب إلى القائمة أصغر من نسبة زاوية جـ ز د إلى القائمة، فإذاً زاوية آ ز ب أصغر من زاوية جـ ز د. فإذاً خط آ ب يرى من ز أصغر <من خط جـ د>. والتدبير في كل ما خرج عن خط ه ز أو سمته من المواضع كالتدبير في علامة ز؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- <مط> - نريد أن نجد موضعًا نرى منه عظمين مختلفي الأقدار في سطح واحد وعلى خط واحد مع الناظر في سطح واحد متساويي الأقدار.

فنفرض العظمين من خط آ ب عظمي آ جـ د ب، ونرسم على خط آ د نصف دائرة وعلى خط ب جـ نصف دائرة في جهة واحدة، وهما قوسا آ ه د جـ ه ب. فـ ه علامة مشتركة لقوسي آ ه د جـ ه ب.

فأقول: إن علامة ه إذا نظر منها إلى عظمي آ جـ ب د المختلفين أبصرا متساويي الأقدار.



برهان ذلك: أن قوس آ ه د تقبل زاوية مساوية للزاوية التي تقبلها قوس جـ ه ب. ونخرج خطي ه جـ ه د مستقيمين، فزاوية آ ه د التي في قوس آ ه د مساوية لزاوية جـ ه ب التي في قوس جـ ه ب. ونرفع زاوية

97r l'angle / commun *CED*, il reste l'angle *AEC* égal à l'angle *BED* ; les deux grandeurs *AC* et *DB* sont donc vues sous deux angles égaux, elles apparaissent par conséquent égales. Ce qu'il fallait démontrer.

– 50 – Euclide a supposé que les deux grandeurs sont les deux grandeurs *AB* et *BC* sur une même droite ; il a supposé que la ligne menée de l'intersection des deux cercles jusqu'à *B* commun aux deux grandeurs, est une droite, et il a mentionné que l'angle *BDA* est égal à l'angle *BDC* ; or ceci n'est pas nécessaire, car pour deux cercles qui se coupent la droite passant par leur intersection coupe le diamètre de chacun d'eux suivant des angles droits, c'est-à-dire leurs diamètres qui sont sur une même droite.

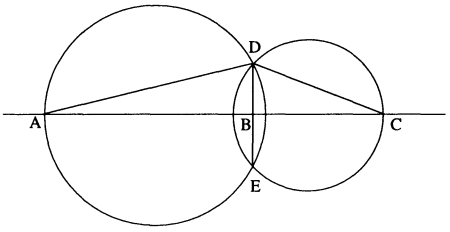


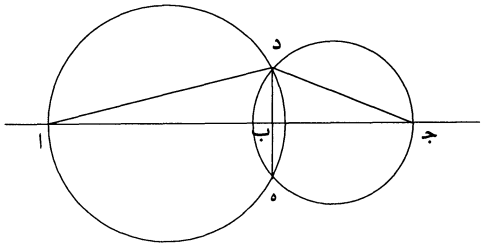
Fig. 50

Exemple : Supposons la droite sur laquelle il y a leurs diamètres, comme l'a supposé Euclide, la droite *ABC*, et supposons <qu'ils aient> une intersection. Supposons les deux cercles le cercle *DAE,* le plus grand, et le plus petit, le cercle *DCE*, *D* et *E* sur l'intersection des deux cercles. La droite *DE* sépare la droite *AC* suivant des angles droits au point *B*, les deux angles *DBA* et *DBC* sont donc égaux, *BC* est plus courte que *BA* et *BD* est commune, donc *DC* est plus courte que *DA* ; donc le rapport de *BD* à *BC* est plus grand que le rapport de *BD* à *BA*, l'angle *BCD* est donc plus grand que l'angle *BAD* ; c'est pourquoi il reste l'angle *CDB* plus petit que l'angle *ADB*. Or il a mentionné qu'ils sont égaux d'après ce que nous avons trouvé dans ce qui a été traduit de son propos. Nous n'avons pas trouvé que le fait que les deux droites *AB* et *BC* sont contiguës en *B*, montre que les deux angles *BDC* et *BDA* sont égaux d'après le propos qu'on a rapporté de lui[127].

[127] Voir note complémentaire.

جـ ه د / المشتركة، فتبقى زاوية ا ه جـ مساوية لزاوية ب ه د؛ فعظما ا جـ ٩٧-و
د ب يريان بزاويتين متساويتين، فهما إذاً يريان متساويين؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– نَ – فأما أوقليدس فإنه فرض العظمين عظمي ا ب ب جـ من خط واحد، وفرض الخط الخارج من تقاطع الدائرتين إلى ب المشتركة للعظمين مستقيمًا، وذكر أن زاوية ب د ا مساوية لزاوية ب د جـ؛ وهذا غير واجب لأن كل دائرتين تتقاطعان فإن الخط الذي يجوز على فصلهما المشترك يقطع قطع كل واحدة منهما على زوايا قائمة، أعني قطريهما اللذين من خط واحد.



مثال ذلك: أن نفرض الخط الذي عليه أقطارهما، كما فرض أوقليدس، خط ا ب جـ المستقيم، ونفرض فصلهما المشترك، ونفرض الدائرتين، أما العظمي منهما فدائرة د ا ه، وأما الصغرى فدائرة د جـ ه، ودَ وهَ على فصل الدائرتين المشترك. فخط د ه المستقيم يفصل خط ا جـ على زوايا قائمة على علامة ب، فزاويتا د ب ا د ب جـ متساويتان، وب جـ أقصر من ب ا وب د مشترك، ود جـ أقصر من د ا؛ فنسبة ب د إلى ب جـ أعظم من نسبة ب د إلى ب ا، فزاوية ب جـ د أعظم من زاوية ب ا د؛ ولذلك تبقى زاوية جـ د ب أصغر من زاوية ا د ب. وقد ذكر أنهما متساويتان على ما وجدنا فيما نقل من قوله. ولم نجد لأن يكون خطا ا ب ب جـ متصلين على ب يظهر به أن زاويتي ب د جـ ب د ا متساويتان على ما يبلغ القول الذي حكي عنه.

1 مع بداية الصفحة نقل المخطوطة ناسخ آخر.

– 51 – Trouver deux positions telles que, à partir de chacune d'elles, on voit l'une des deux grandeurs inégales qui sont sur une même droite <et qu'on les voit> égales dans leur grandeur, et une troisième position à partir de laquelle on voit les deux grandeurs réunies égales à chacune d'elles[128].

97v Supposons les deux grandeurs / dans les positions des droites *AB* et *BC* et supposons *AB* et *BC* une droite. Traçons sur la droite *AB* le demi-cercle *ADB* et sur la droite *BC*, le demi-cercle *BC*.

Nous disons que, à partir de toute position de l'arc *ADB* sur laquelle se place l'œil et à partir de laquelle il regarde la droite *BA*, la droite *BA* apparaît d'une même grandeur qui ne varie pas.

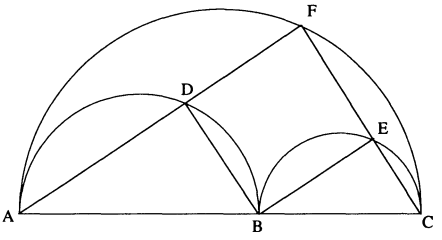


Fig. 51

De même à partir de toute position dans laquelle se place l'œil sur l'arc *BEC*, la droite *BC* apparaît d'une grandeur qui ne varie pas.

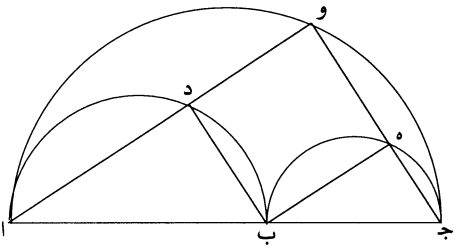
Démonstration : Puisque l'arc *ADB* est capable d'un angle droit et que l'arc *BEC* est capable d'un angle droit, alors *AB* apparaît à partir de l'arc *ADB* – d'un point quelconque de celui-ci duquel tombe la vue sur la droite *AB* – égale à la droite *BC* quelle que soit la position sur l'arc *BEC* à partir de laquelle on regarde *BC*, car la droite *AB* et la droite *BC* sont vues sous des angles égaux droits, donc leurs grandeurs apparaissent égales. Traçons sur la droite *AC* du côté de *D* et *E* un demi-cercle *AFC*, il est capable également d'un angle droit, donc de là où on regarde, à partir de celui-ci, vers la droite *AC* qui est la réunion des deux grandeurs, *AC* sera vue sous un angle droit. Donc *AC* sera vue égale à *AB* si elle est regardée à partir de l'arc *ADB*, et aussi égale à *BC*, si elle est regardée à partir de l'arc *BEC*.

[128] Il s'agit de trouver trois points tels que du premier on regarde l'une des droites, du deuxième on regarde l'autre droite et du troisième la somme des deux.

– نَا – نريد أن نجد موضعين، يُرى من كل واحد منهما عظمٌ من عظمين مختلفين في خط واحد في أقدارهما متساويين، وموضعًا ثالثًا يُرى منه جميع العظمين مساويًا جميعهما لكل واحد منهما.

فنفرض العظمين/ موضع خطي آ ب ب جـ ونفرض آ ب ب جـ <خطًا> ٩٧-ظ
5 مستقيمًا. وندير على خط آ ب نصف دائرة آ د ب وعلى خط ب جـ نصف دائرة ب جـ.

فالقول: إن كل موضع من قوس آ د ب وضع عليه البصر ونظر منه إلى خط ب آ رئي خط ب آ بقدر واحد لا يختلف.



وكذلك أي موضع وضع البصر من قوس ب ه جـ، رئي منه خط ب جـ
10 بقدر واحد لا يختلف.

<برهان ذلك>: ولأن قوس آ د ب تقبل زاوية قائمة، وقوس ب ه جـ تقبل زاوية قائمة، فإن آ ب يرى من قوس آ د ب، من أي علامة منها وقع النظر إلى خط آ ب، مساويًا لخط ب جـ من أي موضع نظر إلى ب جـ من قوس ب ه جـ، لأن التي يرى بها خط آ ب وخط ب جـ زوايا متساوية
15 قائمة، فأقدارها ترى متساوية. ونخط على خط آ جـ في جهة د ه نصف دائرة آ و جـ، فهي تقبل أيضًا زاوية قائمة، فمن حيث نظر منها إلى خط آ جـ، الذي هو العظمان جميعًا، رئي آ جـ بزاوية قائمة. فرئي آ جـ مساويًا آ ب إذا نظر إليه من قوس آ د ب ومساويًا أيضًا لـ ب جـ إذا نظر إليه من قوس ب ه جـ.

1 نريد: نراید – 2 في خط واحد: أثبتها في الهامش وكرر بعدها كلمة «مختلفين» – 5 خط (الأولى): أثبتها فوق السطر – 8 ب آ (الأولى): ب د – 9 وضع: أثبتها في الهامش.

Exemple : Menons la droite *AF* et supposons *D* là où elle coupe l'arc *BDA* ; menons la droite *CF* et supposons *E* là où elle coupe l'arc *BEC*. Menons la droite *EB* et la droite *BD* ; les angles *BEC*, *BDA* et *CFA* sont égaux, car chacun d'eux est droit, puisque chacun d'eux est dans un demi-cercle. La droite *AC* sera vue à partir du point *F* – elle est <la réunion> des deux grandeurs *AB* et *BC* – égale à la droite *AB* et de même elle sera vue égale à la droite *BC*, si on regarde *AB* à partir de *D* et *BC* à partir de *E*, car les angles *ADB, BEC, AFC* sont égaux. Ce qu'il fallait démontrer.

– 52 – Comment trouver une position à partir de laquelle, une grandeur dans le même plan qu'elle, sera vue selon le rapport que l'on veut à partir d'une autre position.

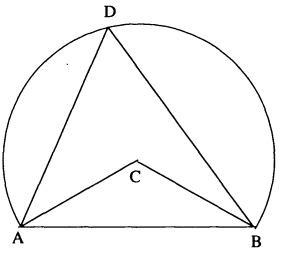
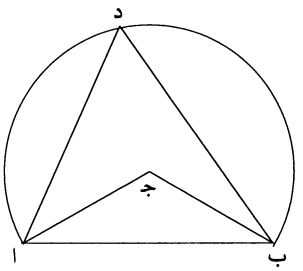


Fig. 52

Exemple : Supposons la grandeur selon la droite *AB* et menons deux
98r droites suivant deux angles égaux d'un même côté / à partir des points *A* et *B* ; nous marquons là où les deux droites se coupent le point *C*. Nous voulons trouver une position à partir de laquelle on voit la grandeur *AB*, <égale à> la moitié de ce qu'on voit à partir du point *C*. Traçons à partir de *C*, avec la distance *CA*, le cercle *ABD*. L'angle *ACB* est le double de l'angle *ADB*, car l'angle *ACB* est au centre, l'angle *ADB* est sur la circonférence et leur base est *AB*. De même, chaque fois que nous voulons un certain rapport, nous faisons le rapport de l'angle *ADB* à l'angle *ACB* selon ce rapport, on verra à partir de l'angle *D* la droite *AB* selon le rapport que nous avons supposé, relativement à ce que nous voyons si nous regardons à partir de l'angle *C*. Ce qu'il fallait démontrer.

مثال ذلك: أن نخرج خط آ و على استقامة، ونفرض د حيث قاطع قوس ب د آ، ونخرج خط جـ و مستقيماً، ونفرض ه حيث قاطع قوس ب ه جـ، ونخرج خط ه ب وخط ب د مستقيمين، فزوايا ب ه جـ ب د آ جـ و آ متساوية، لأن كل واحدة منها قائمة، لأن كل واحدة منها في نصف دائرة. فخط آ جـ يرى من علامة و - وهو عظما آ ب ب جـ - مساويًا لخط آ ب ؛ وكذلك يرى أيضًا مساويًا لخط ب جـ، إذا نظر إلى آ ب من د وإلى ب جـ من ه، لأن زوايا آ د ب ب ه جـ آ و جـ متساوية؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- نب - كيف نجد موضعًا يُرى منه عظم معه في سطح بأي نسبة أردنا من موضع آخر.



مثال ذلك: أن نفرض العظم عند خط آ ب، ونخرج خطين على زاويتين متساويتين في جهة واحدة / من علامتي آ وب، ونتعلم حيث تقاطع ٩٨-و الخطان علامة جـ. ونريد أن نجد موضعًا يرى منه عظم آ ب نصف ما يرى <من> علامة جـ. فنخط على جـ وببعد جـ آ دائرة آ ب د، فزاوية آ جـ ب ضعف زاوية آ د ب، لأن زاوية آ جـ ب على المركز، وزاوية آ د ب على المحيط وقاعدتهما آ ب. وكذلك كلما أردنا نسبة ما صيّرنا نسبة <زاوية> آ د ب إلى زاوية آ جـ ب بتلك النسبة، فيرى من زاوية د خط آ ب على النسبة التي فرضنا مما نراه إذا نظرنا إليه من زاوية جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

1 قاطع: تتقاطع - 12 متساويتين: متساويين - 13 جـ: د.

– 53 – Si des grandeurs mobiles dont les extrémités initiales sont sur une droite parallèle à la perpendiculaire menée de l'œil à la droite parallèle à l'une d'elles s'approchent de la perpendiculaire menée de l'œil, alors parmi elles, la plus éloignée de l'œil apparaîtra en avance sur celle qui lui succède, et celle qui lui succède en avance sur celle qui est la plus proche de l'œil ; et si elles s'éloignent de la perpendiculaire, alors celle qui est la plus éloignée de l'œil apparaîtra en retard sur celle qui lui succède, et celle qui lui succède en retard sur celle qui est la plus proche de l'œil ; et ceci si l'œil est fixe, immobile par rapport à sa position.

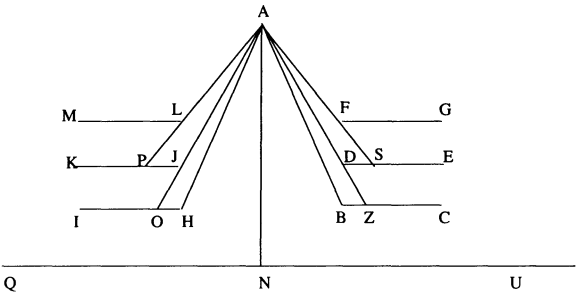
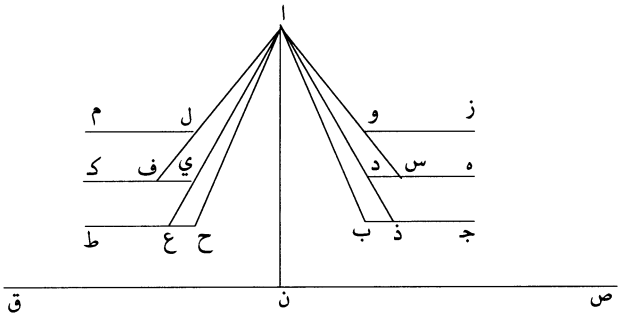


Fig. 53

Exemple : On suppose l'œil au point *A* et les grandeurs, qui sont avec lui, dans un même plan, leurs extrémités étant sur des droites parallèles et parallèles à la perpendiculaire menée de l'œil à une droite qui leur est parallèle. Quant à la perpendiculaire, c'est *AN*, et quant aux grandeurs qui se rapprochent, ce sont les grandeurs *BC*, *DE*, *FG*. On suppose leurs extrémités qui s'approchent de la perpendiculaire, lesquelles sont sur une droite parallèle à la perpendiculaire, les points *B*, *D*, *F*, et les points des autres extrémités, qui sont sur une autre droite parallèle à la perpendiculaire, les points *C*, *E*, *G*. Quant aux grandeurs qui s'éloignent de la perpendiculaire et qui sont en retard[129], ce sont les grandeurs *HI*, *JK*, *LM*, leurs extrémités sur une droite parallèle à la perpendiculaire sont leurs extrémités terminales *H, J, L* ; quant à leurs extrémités initiales
98v sur une droite parallèle à la perpendiculaire, ce sont les points / *I*, *K*, *M*. Menons la droite *ADZ*, *Z* sur la droite *BC* ; la droite *AFS*, *S* sur la droite *DE* ; la droite *AJO*, *O* sur la droite *HI* et la droite *ALP*, *P* sur la droite

[129] Les grandeurs mobiles ont par hypothèse des vitesses égales, mais dans cette deuxième partie, la grandeur la plus éloignée semblera la plus lente.

– نجـ – الأعظام المتحركة التي نهايات أوائلها على خط مستقيم موازٍ للعمود الخارج من البصر إلى الخط الموازي لأحدها؛ إذا كانت مقبلة نحو العمود الخارج من البصر، فإن الأبعد منها من البصر يرى سابقًا للذي يليه، والذي يليه سابقًا لأقربها من البصر؛ وإذا كانت منصرفة عن العمود، فإن أبعدها من البصر يرى متخلفًا عن الذي يليه، والذي يليه متخلفًا عن أقربها من البصر؛ وذلك إذا كان البصر ثابتًا غير متحرك عن موضعه.



مثال ذلك: أن يفرض البصر عند علامة آ والأعظام التي معه في سطح واحد، ونهاياتها في خطوط متوازية وموازية للعمود الخارج من البصر إلى خط موازٍ لها. أما <العمود فـ آ نَ، وأما الأعظام> المقبلة إلى العمود، فأعظام بَ جـ دَ هَ وَ زَ. ويفرض نهاياتها المقبلة إلى العمود، التي في خط موازٍ للعمود، علامات بَ دَ وَ وعلامات نهاياتها الأخرى، التي على خط آخر موازٍ للعمود، علامات جـ هَ زَ. فأما الأعظام المدبرة على العمود المتخلفة، فأعظام حَ طَ يَ كَ لَ مَ ونهاياتها التي في الخط الموازي للعمود وهي نهايات مؤخراتها حَ يَ لَ. وأما نهاياتها المتقدمة التي في الخط الموازي للعمود فعلامات / طَ كَ مَ. ونخرج خط آ د ذَ، وذَ من خط ٩٨-ظ
بَ جـ، وخط آ وَ سَ، وسَ من خط دَ هَ، وخط آ يَ عَ، وعَ من خط حَ طَ،

5 متخلفًا: مختلفا – 6 متخلفًا: مختلفا – 10 المقبلة إلى: أثبتها في الهامش – 14 المتخلفة: المختلفة – 15 مؤخراتها: مواخيرها – 16 خط (الأولى): خطوط.

JK ; supposons la droite parallèle à ces grandeurs, la droite *QU*, et la perpendiculaire menée de *A* à la droite *UQ*, la perpendiculaire *AN*.

Nous disons que si les droites *BC*, *DE* et *FG* sont en mouvement, d'un mouvement égal[130], dans la direction de la perpendiculaire *AN*, la droite *BC* apparaîtra plus rapide vers la perpendiculaire *AN* que la grandeur *DE*, *DE* apparaîtra plus rapide vers la perpendiculaire *AN* que la grandeur *FG*, *HI* apparaîtra plus lente également que la droite *JK*, et *JK* elle aussi plus lente que la droite *LM*.

Démonstration : Le point *D* apparaîtra avec le point *Z* sur la droite *ADZ*, ainsi *B* apparaîtra en avance vers la perpendiculaire *AN* de la grandeur de la droite *BZ*. De même *F* apparaîtra avec *S* – de la droite *DE* – sur la droite *AFS*, donc *D* apparaîtra en avance sur *F* de la grandeur *DS*. De même *J* apparaîtra avec *O* sur la droite *AJO* et *H* sera vu en retard sur *O* de la grandeur *HO* ; donc *H* apparaîtra en retard sur *J* de la grandeur *HO*, *L* apparaîtra avec *P* de la droite *KJ*, sur la droite *ALP*, et *J* apparaîtra en retard sur *P* de la grandeur *JP* ; la grandeur *JK* apparaîtra en retard sur la grandeur *LM* de la grandeur *JP*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 54 – Si des grandeurs dans un même plan que l'œil se meuvent d'un mouvement différent[131] ; si l'œil se meut dans ce plan suivant une droite parallèle à la ligne de leur mouvement, c'est-à-dire la ligne suivant laquelle elles sont mues et s'il a un mouvement égal à celui de l'une d'entre elles, alors celle qui a un mouvement égal à celui de l'œil apparaît immobile et celle qui est plus rapide que le mouvement de l'œil, et qui suit l'œil, paraît s'approcher de la direction de l'œil et si elle est au devant de l'œil, elle paraît s'éloigner de la direction de l'œil ; et celle qui est plus lente que le mouvement de l'œil, si elle suit la direction de l'œil, elle paraît prendre un retard croissant sur la direction de l'œil, et si elle précède la direction de l'œil, elle paraît s'approcher de la direction de l'œil./

99r *Exemple* : Nous supposons la pupille au point *A*, nous supposons les grandeurs mues par un mouvement différent suivant une même direction,

[130] C'est-à-dire ayant des vitesses égales.
[131] C'est-à-dire ayant des vitesses inégales.

وخط آ ل ف، وف من خط ي ك. ونفرض الخط الموازي لهذه الأعظام خط ق ص والعمود الخارج من آ إلى خط ص ق عمود آ ن.

فالقول: إن خطوط ب جـ د ه و ز إذا كانت متحركة حركة متساوية إلى جهة عمود آ ن، رئي خط ب جـ أسرع إلى عمود آ ن من عظم د ه، ود ه يرى أسرع إلى عمود آ ن من عظم و ز وح ط يرى ‹متخلفًا› أيضًا من ي ك، وي ك أيضًا ‹متخلفًا› من ل م.

برهان ذلك: أن علامة د ترى مع علامة ذ على خط آ د ذ، فترى ب قد تقدمت إلى عمود آ ن بقدر خط ب ذ، أيضًا و ترى مع س – وس من خط د ه – على خط آ و س، فـ د ترى متقدمة و بقدر د س. وأيضًا فإن ي ترى مع ع بخط آ ي ع، وح متخلفة عن ع بقدر ح ع، فـ ح ترى متخلفة عن ي بقدر ح ع، ول ترى مع ف ‹على خط ك ي على خط آ ل ف› وي متخلفة عن ف بقدر ي ف، فعظم ي ك يرى متخلفًا عن عظم ل م بقدر ي ف؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– ‹ند› – إذا كانت أقدار مع البصر في سطح واحد متحركة حركة مختلفة، وكان البصر متحركًا في ذلك السطح على خط موازٍ لخط حركتها، أعني الخط الذي تحركت عليه، وكان مساوي الحركة لأحدها، فإن المساوي ‹منها›، لحركة البصر يرى ثابتًا، والذي هو أسرع من حركة البصر متخلفًا عن البصر يرى متقدمًا إلى سمت البصر، وإن كان متقدمًا عن البصر يرى متباعداً عن سمت البصر، والذي هو أبطأ من حركة البصر، إن كان متخلفًا عن سمت البصر، ‹فإنه يرى يزداد تخلفًا عن سمت البصر›، وإن كان متقدمًا سمت البصر يرى متقربًا مقبلاً إلى سمت البصر. /

مثال ذلك: أن نفرض الناظر عند علامة آ، ونفرض الأعظام المتحركة ٩٩-و الحركة المختلفة على سمت واحد التي مع البصر في سطح ‹واحد›، أعظام

2 آ إلى: أثبتها في الهامش – 7 ذ: ن – 9 د ه: جـ ه – 10 متخلفة (الأولى والثانية): مختلفة – 12 متخلفة: مختلفة / متخلفًا: مختلفا – 13 أن نبين: أثبتها في الهامش – 15 لخط: الخط – 16 تحركت: تحرك – 18 متخلفًا: مختلفا / متقدمًا: مستقدما – 20 متخلفًا: مختلفا – 23 عند: أثبتها في الهامش – 24 البصر: لبصر / أعظام: الأعظام.

et qui sont avec l'œil dans un même plan, les grandeurs *BC*, *DE*, *FG*, et nous supposons que *DE* a un mouvement égal au mouvement de *A* et que leur mouvement à toutes va du côté de *F* vers le côté de *B*.

Nous disons que la grandeur *DE* paraîtra fixe ; quant à la grandeur *FG*, si elle a un mouvement plus rapide que la grandeur *DE*, elle paraîtra s'approcher de *DE* et si elle a un mouvement plus lent que *DE*, elle paraîtra s'éloigner de *DE*. Quant à la grandeur *BC*, si elle a un mouvement plus rapide que la grandeur *DE*, elle paraîtra s'éloigner de la grandeur *DE* et si elle a un mouvement plus lent que *DE*, alors elle paraîtra s'approcher de la grandeur *DE*.

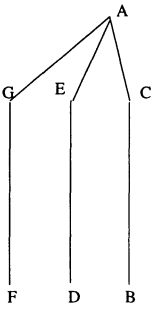


Fig. 54

Démonstration : La grandeur *DE* est avec la pupille sur une même ligne qui est la ligne *AED* et à une même grandeur qui est la distance *AE*[132], donc on ne voit pour elle ni un rapprochement de *A*, ni un éloignement de lui, elle paraîtra alors en repos par rapport à *A* qui se meut, car son état ne sera pas différent de celui de *A* si la ligne *AED* est droite ou s'il y a un angle en *E*[133]. Quant à la grandeur *FG*, si elle a un mouvement plus rapide que la grandeur *DE*, alors elle s'en rapproche jusqu'à la rejoindre, elle paraîtra donc s'approcher de la grandeur *DE* qui paraîtra en repos par rapport à *A*. Si elle a un mouvement plus lent que la grandeur *DE*, alors *DE* s'en éloigne, *DE* paraît en repos par rapport à *A* et par conséquent *FG* paraît s'éloigner de *DE* en repos. Quant à *BC*, si elle est plus rapide que *DE* qui paraît en repos par rapport à *A*, alors elle paraîtra s'éloigner de *DE* ; et si *BC* a un mouvement plus lent que la grandeur *DE*, alors *DE* s'en approchera encore plus jusqu'à la rejoindre. Mais *DE* paraît en repos par rapport à *A*, par conséquent la grandeur *BC* paraîtra s'approcher de la grandeur *DE*. Ce qu'il fallait démontrer.

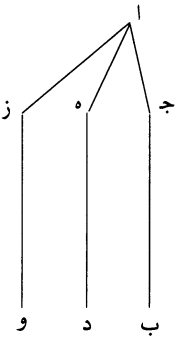
---

[132] La ligne *AED* peut être droite ou brisée ; dans les deux cas, la distance *AE* est invariable, et dans le deuxième cas, l'angle *AED* est invariable également.

[133] Litt. : ou si *E* est un angle.

ب جـ د ه و ز، ونفرض د ه مساوي الحركة لحركة آ وحركتها جميعًا من جهة وَ إلى جهة بَ.

فالقول: إن عظم د ه يرى ثابتًا؛ فأما عظم و ز فإن كان أسرع حركة من عظم د ه؛ فإنه يرى يقرب من د ه، وإن كان أبطأ حركة من د ه، فإنه يرى يتباعد عن د ه. وأما عظم ب جـ فإنه إن كان أسرع حركة من عظم د ه، فإنه يرى يبعد من عظم د ه، وإن كان أبطأ حركة من عظم د ه، فإنه يرى مقبلاً إلى عظم د ه.



برهان ذلك: أن عظم د ه مع الناظر في خط واحد، هو خط ا ه د، وبقدر واحد، وهو بعد ا ه، فليس يرى له إقبال عن آ ولا إدبار عنها، فهو يرى واقفًا من ‹آ› المتحركة، لأنه ليس يختلف حاله من آ إن كان خط ا ه د مستقيمًا أو كانت هَ زاوية. فأما عظم و ز فإنه إن كان أسرع حركة من عظم د ه، فإنه يدنو منه حتى يلحقه، فهو يرى متقربًا من عظم د ه الذي يرى من آ واقفًا، وإن كان أبطأ حركة من عظم د ه، فإن د ه يتباعد منه ود ه يرى من آ واقفًا، فإذاً و ز ‹يُرى› متباعداً عن د ه الواقف. فأما ب جـ فإنه إن كان أسرع من د ه الذي يرى من آ واقفًا، فإنه يرى يتباعد من د ه، وإن كان ب جـ أبطأ حركة من عظم د ه، فإن د ه يزداد في التقرب منه حتى يلحقه، ود ه يرى من آ واقفًا، فإذاً عظم ب جـ يرى مقبلاً متقربًا من عظم د ه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

9 له: لها – 10 واقفًا: واقفا – 12 يدنو: يدنوا – 14 متباعداً: متباعد.

– 55 – Si l'œil s'approche d'une grandeur, celle-ci paraît s'agrandir et s'étendre.

Exemple : On suppose l'œil au point *A* et la grandeur suivant la droite *BC*.

99v Je dis que, à mesure que l'œil / s'approche de la grandeur *BC*, il la voit s'agrandir et s'étendre.

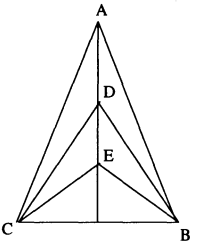


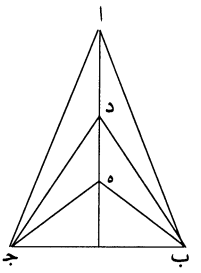
Fig. 55

Démonstration : La grandeur *BC* est vue du point *A* sous l'angle *BAC*. Si l'œil s'approche en *D*, elle sera vue sous l'angle *BDC* ; mais l'angle *BDC* intérieur au triangle <*BAC*> est plus grand que l'angle *BAC* qui est l'angle du triangle ; elle sera donc vue à partir de *D* plus grande qu'elle n'est vue à partir de *A*. S'il s'approche également de *BC* suivant une droite jusqu'à *E*, *BC* augmentera en grandeur car le procédé est le même ; en effet elle sera vue sous l'angle *BEC* plus grande que ce qu'elle est vue sous l'angle *BDC*. Par conséquent, elle sera vue sous l'angle *BEC* beaucoup plus grande que ce qu'elle est vue sous l'angle *BAC*, ainsi *BC* augmentera en grandeur à mesure que l'œil s'approche d'elle, donc à mesure que l'œil s'approche d'elle, elle augmentera et s'agrandira. Ce qu'il fallait démontrer.

– 56 – Des grandeurs à distances égales[134], mues par un mouvement de vitesse égale suivant des droites parallèles qui coupent la perpendiculaire menée de l'œil, la plus proche de l'œil paraîtra parfois plus rapide que celle qui est plus éloignée de l'œil, parfois avec une vitesse égale et parfois avec une vitesse moindre. Si elles se déplacent, venant d'une droite parallèle à la perpendiculaire de l'œil, vers la perpendiculaire de l'œil, alors la plus éloignée de l'œil paraîtra d'un mouvement plus rapide. Si leurs points extrêmes atteignent la perpendiculaire de l'œil, elles paraîtront d'un mouvement égal, et si elles dépassent la perpendiculaire

[134] Les distances des grandeurs données à l'œil sont supposées inégales, comme cela est précisé ensuite dans le texte et dans la conclusion.

– نه – إذا كان البصر يدنو من عظم رآه كأنه يربو ويمتدّ.
مثال ذلك: أن يفرض البصر عند علامة آ والعظم عند خط ب جـ.
فأقول: إن البصر كلما / دنا من عظم ب جـ رآه كأنه يربو ويمتدّ. ٩٩–ظ



برهان ذلك: أن عظم ب جـ يرى من علامة آ بزاوية ب ا جـ. فإن دنا إلى علامة دَ، يرى بزاوية ب د جـ؛ وزاوية ب د جـ – التي في داخل المثلث – أعظم من زاوية ب ا جـ التي هي زاوية المثلث. فيرى من دَ أعظم مما رئي من آ. وإذا دنا أيضًا من ب جـ على استقامة إلى هَ، ازداد عظمًا لأن التدبير واحد؛ فهو يرى من زاوية ب ه جـ أعظم مما يرى من زاوية ب د جـ. فإذاً يُرى من زاوية ب ه جـ أعظم كثيراً مما يرى من زاوية ب ا جـ، فهو يزداد عظمًا كلما قرب البصر منه، فهو كلما قرب البصر منه يعظم ويربو؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– نو – الأعظام المتساوية الأبعاد المتحركة بحركة متساوية في السرعة على خطوط مستقيمة متوازية قاطعة للعمود الخارج من البصر على زوايا قائمة، يرى أقربها من البصر تارة أسرع من الذي هو أبعد من البصر، وتارة مساويًا له في السرعة وتارة أبطأ منه في السرعة. أما إذا كانت مقبلة من خط مستقيم موازٍ لعمود البصر إلى عمود البصر، فإن الأبعد من البصر منها يرى أسرع حركة منه. فأما إذا انتهت أوائلها إلى عمود البصر، فإنها ترى متساوية الحركة، فإذا جازت عمود البصر ذاهبة منه

1 يدنو: يدنوا / رآه: يرى / يربو: يربوا / ويمتد: أثبتها في الهامش – 3 يربو: يربوا – 7 على: إلى / ازداد: أثبتها في الهامش – 11 ويربو: ويربوا.

de l'œil, partant d'elle dans la direction opposée à celle de laquelle elles sont venues, alors parmi elles, la plus éloignée de l'œil paraîtra plus lente que la plus proche de l'œil.

Exemple : Supposons deux grandeurs égales mues d'un mouvement d'égale vitesse qui sont les grandeurs *AB* et *CD*[135] ; l'œil est au point *E* et les deux droites qui coupent la perpendiculaire menée de l'œil sont les droites *BAI* et *DCJ*. Supposons-les à extrémités indéterminées et
100r supposons la plus éloignée de l'œil la droite *DJ* / perpendiculaire à la perpendiculaire *EF*, avec *F* sur la droite *DJ*. Supposons la droite parallèle à la perpendiculaire menée de l'œil, à partir de laquelle a commencé leur mouvement, la droite *BD*.

Nous disons que si *A* commence son mouvement à partir de *B* vers la perpendiculaire *EF*, et si *C* commence son mouvement à partir de *D* vers la perpendiculaire *EF*, par deux mouvements égaux, on voit *C* à partir de *E* d'un mouvement plus rapide vers la droite *EF* que le point *A* vers la droite *EF*. Si *C* parvient à la perpendiculaire *EF* et si *A* parvient à la perpendiculaire *EF*, *C* sera vu d'un mouvement égal au mouvement de *A*. Si les deux points *A* et *C* dépassent la perpendiculaire *EF*, alors *C* sera vu d'un mouvement plus lent que le point *A*.

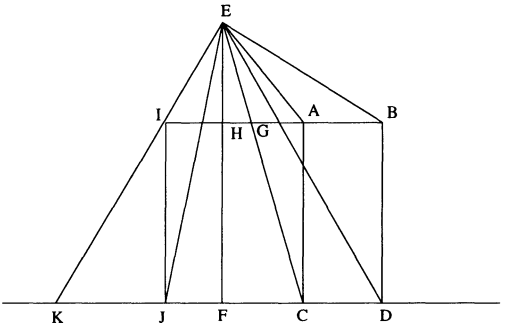


Fig. 56

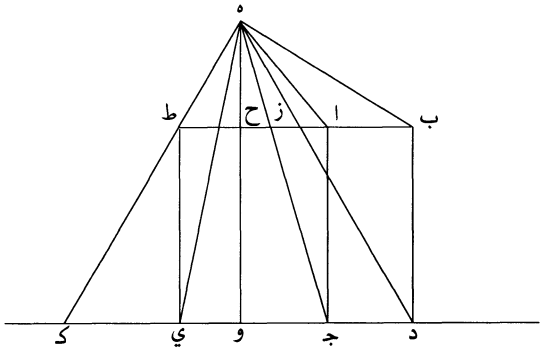
Démonstration : Supposons que la droite à laquelle sont parvenus *A* et *C*, après leur mouvement à partir de la droite *BD*, est la droite *AC* parallèle à la droite *BD* et à la perpendiculaire *EF* – leur mouvement

[135] Dans la démonstration on considère deux points *A* partant de *B*, et *C* partant de *D*, avec des vitesses égales, donc *AB* = *CD*.

إلى خلاف الجهة التي أقبلت منها، فإن الأبعد منها من البصر يرى أبطأ من الأقرب منها من البصر.

مثال ذلك: أن نفرض عظمين متساويين متحركين حركة متساوية في السرعة، وهما عظما آ ب جـ د، والبصر عند علامة هـ، والخطين المستقيمين المقاطعين للعمود الخارج من البصر على زوايا قائمة خطي ب ا ط د جـ ي، ونفرضهما غير محدودي النهايات، ونفرض أبعدهما من البصر خط د ي / ‹عموداً على› عمود هـ و، ووَ من خط د ي. ونفرض الخط الموازي ١٠٠-و للعمود الخارج من البصر الذي ابتدأت حركتهما منه خط ب د.

فالقول: إن إذا ‹آ› ابتدأت من بَ متحركة إلى عمود هـ و وجَ إذا ابتدأت متحركة من دَ إلى عمود هـ وَ بحركتين متساويتين، أبصرت جَ من هـَ أسرع حركة إلى خط هـ وَ من علامة آ إلى خط هـ وَ. فإذا انتهت جَ إلى عمود هـ وَ وانتهت ‹آ› إلى عمود هـ وَ، أبصرت جَ مساوية الحركة لحركة ‹آ›. فإذا جازتا علامتا آ وجَ عمود هـ وَ أبصرت جَ أبطأ حركة من علامة آ.



برهان ذلك: أن نفرض الخط الذي انتهت إليه آ وجَ بعد أن تحركتا من خط ب د خط ا جـ المستقيم الموازي لخط ب د ولعمود هـ وَ، لأن حركتها

1 الجهة: الجملة / أقبلت: قبلت – 4 جـ د: ا جـ د – 7 ووَ: فـ و.

en effet est égal. Par conséquent, la distance *BA* est égale à la distance *DC*. Mais *AB* et *CD* ont été supposées parallèles et <les droites> qui joignent les extrémités des parallèles, sont parallèles. Mais la droite *AC* est parallèle à la droite *BD* et *BD* est supposée parallèle à la perpendiculaire *EF*, alors *EF* est elle aussi parallèle à la droite *AC*. Menons les droites *EB* et *EA*, alors *EA* et *EB* tombent sur les deux droites *BD* et *AC* qui sont parallèles, donc les deux droites *EA* et *AC* se sont jointes sans être en ligne droite, alors elles entourent un angle *EAC*. On mène la droite *EC*, *EAC* est donc un triangle. Marquons là où la droite *EC* coupe la droite *AI* le point *G* et là où la droite *AI* coupe la perpendiculaire *EF* le point *H*. La droite *EC* tombe donc sur les deux droites *AC* et *EF* qui sont parallèles, elle coupe en *G* la droite *AH* qui tombe sur les droites *EF* et *AC*, *G* est donc sur la droite *AH*. Le point *G* apparaîtra donc avec le point *C* sur la droite *EGC*. Mais *G* est plus proche de *H* que *A* de *H*, de la grandeur *AG* ; *G* sera plus avancé vers *H* que *A* de la grandeur *AG*, mais *C* apparaîtra avec *G* sur une droite, donc *C* paraîtra plus avancé vers la droite *EF* que *A* vers la droite *EF*, de la grandeur *AG*. Si *A* parvient en *H*, *C* parvient en *F* car leur mouvement a été supposé égal. Mais *H* est sur la perpendiculaire *EF*, par conséquent *H* et *F* apparaîtront sur la droite *EH*, ils paraîtront d'un mouvement égal. Menons de *I*[136] une perpendiculaire à la droite *DJ* et supposons la perpendiculaire *IJ* parallèle à *EF* ; or *EI* tombe sur les deux <droites *IJ* et
100[v] *EF*> et l'angle *EHI* est droit, / donc l'angle *IEH* est plus petit qu'un droit. On prolonge la droite *EI* de *I* jusqu'à *K*, alors elle aboutit à un point de la droite *DJ*, qui a été supposée d'extrémités indéterminées, car l'angle *KIJ* est plus petit qu'un droit puisqu'il est égal à l'angle *IEF*. Mais l'angle *IJK* qui tombe sur la droite *DJ* est droit. Si on mène deux droites de deux points sur une droite telles qu'elles entourent avec la droite <deux angles dont la somme est> plus petite que deux droits, alors elles se rencontrent. La droite *DJ* rencontre donc la droite *EIK* ; supposons qu'elles se rencontrent en *K*. Mais la droite *EI* tombe sur les deux droites parallèles *IJ* et *EF*, donc *EI* et *IJ* se rejoignent au point *I* sans être en ligne droite ; les deux droites *EI* et *IJ* entourent donc un angle. Menons la droite *EJ*, alors *EJ*, du triangle *EIJ*, coupe la droite *HI*, donc *EJI* est un triangle, *EI* coupe la droite *HI*, *K* est vu du point *E* avec le point *I* sur *EIK* et le point

[136] Voir la figure. Le point *I* est supposé au delà de *H*.

متساوية. فإذاً بُعد ب آ مساوٍ بعد د جـ. وآ ب وجـ د فرضا متوازيين، والواصلة بين أطراف المتوازية متوازية. وخط آ جـ موازٍ خط ب د، وب د فرض موازيًا عمود ه و، فـ ه و موازٍ خط آ جـ أيضاً. ونخرج خطوط ه ب ه آ، فـ ه آ ه ب وقعا على خطي ب د آ جـ المتوازيين، فخطا ه آ آ جـ اتصلا على غير استقامة، فإذاً هما يحيطان بزاوية ه آ جـ. ويخرج خط ه جـ، فـ ه آ جـ مثلث. ونتعلم حيث قاطع خط ه جـ خط آ ط علامة ز، وحيث قاطع خط آ ط عمود ه و علامة ح، فخط ه جـ وقع على خطي آ جـ ه و المتوازيين، فقطع خط آ ح الواقع على خطي ه و آ جـ على ز، فـ ز من خط آ ح. فعلامة ز ترى مع علامة جـ على خط ه ز جـ. وز أقرب إلى ح من آ إلى ح بقدر آ ز، فـ ز أسبق إلى ح من آ بقدر آ ز، وجـ ترى مع ز على خط مستقيم، فـ جـ ترى أسبق إلى خط ه و من آ إلى خط ه و بقدر آ ز. وإذا انتهت ‹آ› إلى ح، انتهت جـ إلى و، لأن حركتهما فرضت متساوية. وح من عمود ه و. فإذاً ح وو يريان على خط ه ح، فهما تريان متساويتي الحركة. ونخرج من ط عموداً إلى خط د ي، ونفرضه عمود ط ي موازياً ه و، وقد وقع ه ط عليهما، وزاوية ه ح ط قائمة / فزاوية ط ه ح أقلّ من قائمة. ويخرج خط ه ط من ط على استقامة إلى ك، فهو ينتهي إلى علامة من خط د ي المفروض غير محدود النهايات، لأن زاوية ك ط ي أقلّ من قائمة، لأنها مساوية زاوية ط ه و، وزاوية ط ي ك الواقعة على خط د ي قائمة. وإذا أخرج خطان من علامتين من خط مستقيم يحيطان مع الخط المستقيم بأقل من قائمتين فإنهما يلتقيان. فإذاً خط د ي يلقى خط ه ط ك، فنفرضهما يلتقيان على ك. وخط ه ط وقع على خطي ط ي ه و المتوازيين، فاتصال ه ط ط ي على غير استقامة على علامة ط، فخطا ه ط ط ي يحيطان بزاوية. ونخرج خط ه ي، فـ ه ي من مثلث ه ط ي يقاطع خط ح ط، ‹فـ ه ي ط مثلث وه ط يقاطع خط ح ط› وك ترى من علامة ه مع علامة ط على ه ط ك، وعلامة ي ترى من ه بشعاع ه ي، وك أبعد من

١٠٠-ظ

1 ب آ: ت / فرضا: فرضنا – 2 أطراف: أثبت في الهامش / وخط: فخط – 13 متساويتي: متساويتا – 25 ه ط ك: ه ط ي.

J est vu à partir de *E* par le rayon *EJ* ; *K* est plus éloigné que *J* de la droite *EF* de la grandeur de la distance *KJ*. Or *I* est vu avec *K* suivant une ligne droite, donc il sera vu plus loin que *J* à partir de la droite *EF*, de la grandeur de la distance *KJ*, donc *I* paraîtra précéder *J* d'une grandeur *KJ*, et *I* sera vu d'un mouvement plus rapide que celui de *J*, car il paraîtra le précéder. Par conséquent <parmi> les grandeurs à distances inégales de l'œil, selon les conditions que nous avons déterminées, la plus proche de l'œil paraîtra une fois d'un mouvement plus rapide que la plus éloignée de l'œil, une fois d'un mouvement égal, une fois d'un mouvement plus lent. Ce qu'il fallait démontrer.

– 57 – Les points sur une droite, si l'œil est en mouvement suivant la direction de la droite sur laquelle se trouvent ces points, paraîtront dans un ordre différent, c'est-à-dire que le plus proche de l'œil paraîtra
101r parfois en avance sur le plus éloigné / de l'œil et parfois sur la droite sans que l'un soit en avance sur l'autre ; et parfois le plus proche de l'œil paraîtra être en retard sur celui qui est le plus éloigné de l'œil.

Exemple : Supposons les deux points *A* et *B* sur la droite *AB*, et supposons que l'œil n'est pas aligné avec eux ; nous supposons qu'il est d'abord au point *C* et qu'il se meut à partir de lui suivant la droite *CFG* dans la direction de *AB*, nous supposons *F* sur la même droite que *A* et *B*.

Nous disons que, à partir de *C*, le point le plus proche de *C* paraît en avance sur *B* ; à partir de *F*, il paraît avec lui sur une droite et à partir de *G*, il paraît en retard sur *B*.

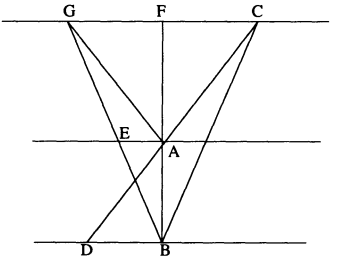


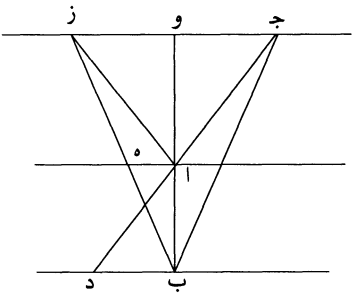
Fig. 57

خط هـ وَ من يَ بقدر بعد كـ يَ. وطَ ترى مع كَ على خط مستقيم، فهي ترى أبعد <من يَ> من خط هـ وَ بقدر بعد كـ يَ، فـ طَ ترى قد تقدمت <يَ> بقدر كـ يَ، وطَ ترى أسرع حركة من يَ لأنها ترى متقدمة لها. فإذاً الأعظام المختلفة البعد من البصر، على الشرائط التي حددنا، يرى الأقرب من البصر منها أسرع حركة من الأبعد من البصر مرة ومرة مساوياً له في الحركة ومرة أبطأ منه في الحركة؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– نزَ – العلامات التي على خط مستقيم، إذا كان البصر متحركًا على سمت الخط الذي هي عليه، فإنها ترى مختلفة الترتيب، أعني أن الأقرب منها إلى البصر، تارة يرى متقدمًا للأبعد منها / من البصر، وتارة يريان ١٠١-و على خط مستقيم لا تتقدم واحدة منهما الآخر، وتارة يرى الأقرب منهما من البصر متأخراً عن الذي هو أبعدهما من البصر.

مثال ذلك: أن نفرض علامتي آ بَ على خط آ بَ المستقيم ونفرض البصر ليس معهما على خط مستقيم، ونفرضه عند علامة جَ أوّلاً يتحرك منها على خط جَ وَ زَ المستقيم إلى جهة آ بَ، ونفرض وَ مع آ بَ في خط مستقيم.

فالقول: إن التي هي أقرب من جَ تبصر من جَ متقدمة بَ ومن وَ معها على خط مستقيم ومن زَ متأخرة عن بَ.



Démonstration : Faisons passer par le point *A* et par le point *B* deux droites parallèles d'extrémités indéterminées, et parallèles à la droite *CFG*, soit les deux droites *BD* et *AE*. Le rayon qui émane de l'œil, émane vers *B* suivant la droite *CB* et vers *A* suivant la droite *CA*. Si nous prolongeons *CA* à partir du point *A*, elle parvient en un point de la droite *BD* – puisque la droite *CA* n'est pas parallèle à la droite *AE*, car elles se rencontrent au <point> *A* et que *AE* est parallèle à la droite *BD* –, par conséquent la droite *CA* n'est pas parallèle à la droite *BD*. Si donc on la mène vers elle, elles se rencontrent. Et si la droite *CA* est prolongée jusqu'à la droite *BD*, elles se rencontrent. Supposons qu'elles se rencontrent en *D*, *D* sera vu avec *A* sur une même droite qui est *CD*. Il sera vu de *C* en avance sur <le point> *B* de la droite *DB*, donc *A* sera vu de *C* en avance sur le point *B* de la droite *DB*. Si *C* atteint *F*, *A* et *B* seront vus de *F* suivant la droite *FAB*, donc aucun d'eux ne paraîtra en avance sur l'autre. Si l'œil atteint <le point > *G*, le rayon visuel émane de *G* jusqu'à *A* suivant la droite *GA* et *GA* rejoint *AB*, sans qu'elles soient alignées, car ce qui rejoint *AB* en ligne droite est la droite *FA*, par conséquent *GA* et *AB* entourent l'angle *GAB*. Menons la droite *BG*, elle
101v coupe la droite *AE* ; supposons / qu'elle la coupe au point *E*, *E* apparaîtra donc avec *B* à partir du point *G* sur la droite *GEB* et *E* apparaîtra à partir de *G* en avance sur *A* de la droite *AE*, donc *B* apparaîtra en avance sur *A* de la droite *AE*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 58 – Pour les grandeurs dressées en face de l'œil, mais sans être alignées, et qui sont avec l'œil dans un même plan[137] ; si celle qui est au milieu est ou bien plus éloignée de l'œil que les deux extrêmes, ou bien plus proche de l'œil que les deux extrêmes, celle qui est au milieu apparaît d'une hauteur différente de celles qui restent, elle apparaît ou bien plus basse ou bien plus haute qu'elles. Si elle est plus éloignée de l'œil que les deux extrêmes, elle apparaîtra plus basse et si elle est plus proche de l'œil que les deux extrêmes, elle apparaîtra plus haute[138].

[137] C'est-à-dire que l'œil et les pieds des grandeurs sont dans un même plan.
[138] Voir note complémentaire.

برهان ذلك: أن نجيز على علامة آ وعلامة ب خطين مستقيمين متوازيين غير محدودي النهايات موازيين خط جـ و ز، وهما خطا ب د وا ه. والشعاع الخارج من البصر، يخرج إلى ب على خط جـ ب وإلى آ على خط جـ آ. فإذا أخرجنا جـ آ من علامة آ على استقامة انتهى إلى علامة من خط ب د، لأن خط جـ آ ليس بموازٍ لخط آ ه، لأنهما يلتقيان على آ وا ه موازٍ لخط ب د، فإذاً خط جـ آ ليس بموازٍ خط ب د. فهو إذا أخرج نحوه التقيا، فخط جـ آ إذا أخرج على استقامة إلى خط ب د التقيا، فلنفرضهما يلتقيان على دَ، ودَ ترى مع آ على خط واحد وهو جـ د <و>ترى من جـ متقدمة ب بخط د ب، فـ آ ترى من جـ متقدمة علامة ب بخط د ب. فإذا انتهت جـ إلى وَ، أبصرت آ وب من وَ على خط و آ ب المستقيم، فلم تر واحدة منهما تقدم الأخرى. فإذا انتهى البصر إلى زَ، خرج شعاع البصر من زَ إلى آ على خط زَ آ المستقيم، وزَ آ يتصل بـ آ ب على غير استقامة، لأن المتصل بـ آ ب على استقامة، هو خط و آ، فإذاً زَ آ وآ ب يحيطان بزاوية زَ آ ب. فنخرج ب زَ المستقيم، فهو يقاطع خط آ ه، فنفرضه / يقاطعه على علامة هَ، فـ هَ ترى مع ب من علامة زَ على خط زَ ه ب ١٠١-ظ المستقيم، وهَ ترى من زَ متقدمة آ بخط آ ه، فـ ب إذاً ترى متقدمة آ بخط آ ه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– نح – الأعظام المنصوبة المقابلة للبصر، على غير خط مستقيم، <و>مع البصر في سطح واحد، بل الأوسط منها إما أن <يكون> أبعد من البصر من النهايتين وإما أقرب إلى البصر من النهايتين، يُرى الأوسط منها مخالفاً في السمك للباقية، إما يرى أهبط منهما وإما أن يرى أعلى منهما، أما إذا كان أبعد من البصر من النهايتين، فإنه يرى أهبط، وأما إذا كان أقرب من البصر من النهايتين فإنه يرى أعلى.

7 جـ آ إذا أخرج: جـ ا ا حرح – 14 ب زَ: ب ز ا.

Exemple : Supposons-la d'abord plus loin de l'œil que les deux extrêmes, supposons l'œil le point *A*, les perpendiculaires de hauteur égale, les perpendiculaires *BC* la première, *DE* celle du milieu et *FG* la dernière.

Je dis que la perpendiculaire *DE* apparaîtra plus basse que les perpendiculaires *BC* et *FG*. Nous supposons ensuite l'œil le point *H*, et la première perpendiculaire *IJ*, celle du milieu *KL* et la dernière *MN*.

Nous disons que la perpendiculaire *KL* apparaîtra plus haute que les deux perpendiculaires *IJ* et *MN*.

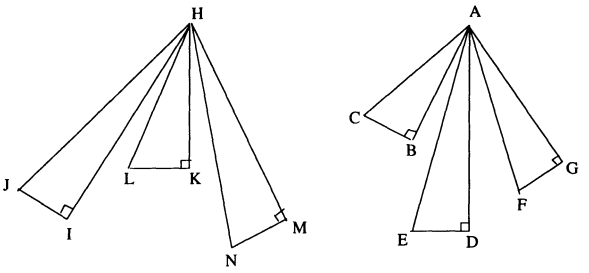


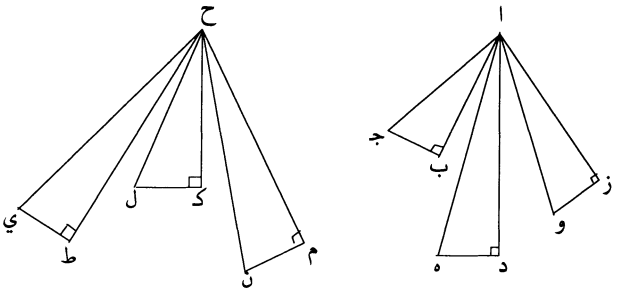
Fig. 58

Démonstration : On mène les droites *AB*, *AC*, *AD*, *AE*, *AF*, *AG*, *HJ*, *HI*, *HK*, *HL*, *HM*, *HN*. Les perpendiculaires *BC*, *DE*, *FG* sont égales et *CB* est perpendiculaire en *B* à la droite *BA*, donc la droite *AC* est l'hypoténuse, *ED* est perpendiculaire en *D* à la droite *DA*, donc *EA* est l'hypoténuse, *GF* est perpendiculaire en *G* à la droite *GA*, et *AF* est l'hypoténuse. Mais *B*, *D*, *A*, *G* sont dans un même plan et *AD* est plus longue que chacune des droites *AB* et *AG*, par conséquent l'hypoténuse *AE* est plus longue que chacune des hypoténuses *AC* et *AF*, donc le rapport de *DE* à *DA* est plus petit que le rapport de *BC*, qui est égal à *DE*, à *BA*, et le rapport de l'arc qui tombe sur la droite *ED* du demi-cercle qui est capable de l'angle droit *EDA* à l'arc qui tombe sur *DA* est égal au rapport de l'angle *DAE* à l'angle *DEA*. De même le rapport de
102r l'angle *BAC* à l'angle *BCA* est égal au rapport / de l'arc qui tombe sur *BC* du demi-cercle circonscrit au triangle *CBA* à l'arc qui tombe sur *BA*, et le rapport de l'arc qui tombe sur *BC* à l'arc qui tombe sur *BA* est plus grand que le rapport de l'arc qui tombe sur *DE* à l'arc qui tombe sur *DA*.

مثال ذلك: أن نفرضه أوّلاً أبعد من البصر من النهايتين، فنفرض البصر علامة آ والأعمدة المتساوية السمك أعمدة ب جـ الأول، ود ه الأوسط وو ز الآخرِ.

فأقول: إن عمود د ه يرى أهبط من عمودي ب جـ و ز، ثم نفرض البصر علامة ح والعمود الأول ط ي والأوسط ك ل والأخير م ن.

فالقول: إن عمود ك ل يرى أعلى من عمودي ط ي م ن.



برهان ذلك: أن يخرج خطوط ا ب ا جـ ا د ا ه ا و ا ز ح ي ح ط ح ك ح ل ح م ح ن. فأعمدة ب جـ د ه ف ز متساوية وجـ ب قائم على ب من خط ب ا على زاوية قائمة، فخط ا جـ قطر. وه د قائم على د من خط د ا على زاوية قائمة، فخط ه ا قطر. وز و قائم على ز من خط ز ا على زوايا قائمة وا و قطر. وب د ا ز في سطح واحد وا د أطول من كل واحد من خطي ا ب ا ز، فإذاً قطر ا ه أطول من كل واحد من قطري ا جـ ا و، فنسبة د ه إلى د ا أصغر من نسبة ب جـ - الذي هو مثل د ه - إلى ب ا، ونسبة القوس التي تقع على خط ه د من نصف الدائرة التي تقبل زاوية ه د ا القائمة إلى القوس التي تقع على د ا كنسبة زاوية د ا ه إلى زاوية د ه ا. وأيضًا نسبة زاوية ب ا جـ إلى زاوية ب جـ ا كنسبة / القوس ١٠٢-و الواقعة على ب جـ من نصف الدائرة الواقعة على مثلث جـ ب ا إلى القوس الواقعة على ب ا، ونسبة القوس الواقعة على ب جـ إلى القوس الواقعة على ب ا أعظم من نسبة <القوس> الواقعة على د ه إلى القوس الواقعة على

9 اجـ: ا ب - 10 زا: و ا - 11 ز: ز ا / وا د: واذ - 16 وأيضًا: فاذا.

Par conséquent le rapport de l'angle *DAE* à <l'angle> droit est plus petit que le rapport de l'angle *BAC* à <l'angle> droit ; l'angle *BAC* est par conséquent plus grand que l'angle *DAE*, par conséquent *BC* apparaît plus grande que *DE* ; or elles sont dans un même plan, le point *E* sera donc vu à partir de *A* plus bas que le point *C*. Et de même le point *G*, par ce procédé, sera vu plus haut que le point *E*. Par ce procédé, il sera clair que l'angle *KHL* est plus grand que chacun des angles *IHJ* et *MHN*, donc le point *K* sera vu de *H* plus haut que les deux points *J* et *N*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 59 – Pour tout carré plan, sur lequel on élève une perpendiculaire au point où ses diagonales se coupent, alors si l'œil regarde à partir de la perpendiculaire les côtés du carré, il les voit égaux ; de même s'il regarde ses diagonales, il les voit égales.

Exemple : On suppose le carré plan, le carré *ABCD*, ses deux diagonales qui sont *AC* et *BD* se coupent au point *E*. La perpendiculaire en *E* au plan *ABCD* est la perpendiculaire *EF*.

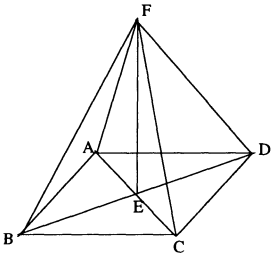


Fig. 59

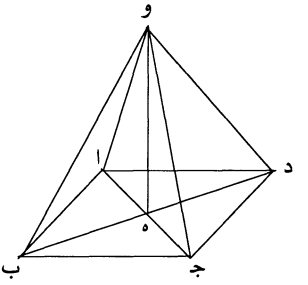
Nous disons que si l'œil est posé en *F*, il voit les côtés *AB*, *BC*, *CD*, *DA* égaux et de même il voit les deux diagonales *BD* et *AC* égales.

Démonstration : Menons les droites *AF, FB, FC* et *FD*. Les droites *AE*, *EB*, *EC* et *ED* sont égales et *EF* est une perpendiculaire commune, donc

د آ. فإذاً نسبة زاوية د ا ه إلى القائمة أصغر من نسبة زاوية ب ا جـ إلى القائمة. فإذاً زاوية ب ا جـ أعظم من زاوية د ا ه، فإذاً ب جـ يرى أعظم من د ه وهي في سطح واحد، فعلامة هَ ترى من آ أهبط من علامة جـ. وكذلك علامة زَ بهذا التدبير ترى أعلى من علامة هَ. وبهذا التدبير يتضح أن زاوية كـ ح ل أعظم من كل واحدة من زاويتي ط ح يَ وم ح نَ، فعلامة كـ ترى من حَ أعلى من علامتي يَ نَ؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

– نط – كل مربعة معتدلة أقيم عمود على العلامة التي يتقاطع عليها قطراها، فإن البصر إذا نظر من العمود إلى أضلاعه المربعة رآها متساوية، وكذلك إذا نظر إلى أقطارها رآها متساوية.

مثال ذلك: أن يفرض المربع المعتدل مربع ا ب جـ د وقطراه وهما ا جـ وب د يتقاطعان على علامة هَ، والعمود القائم على هَ من سطح ا ب جـ د عمود ه و.



فالقول: إن البصر إذا وضع <على> وَ، رأى أضلاع ا ب ب جـ جـ د د ا متساوية وكذلك يرى قطري ب د ا جـ متساوية.

برهان ذلك: أن نخرج خطوط ا و ب و جـ و د المستقيمة. فخطوط ا ه ب ه جـ ه د متساوية، وه و عمود مشترك لها، فإذاً أقطار ا و ب و

2 زاوية ب ا جـ: أثبتها في الهامش – 4 التدبير (الأولى): لتدبير – 5 كـ ح ل: كـ ج ل – 15 و ب: د ب.

les hypoténuses *AF, BF, CF* et *DF* sont égales. Les bases *AB, BC, CD,*
102v *DA* sont égales, par conséquent / les triangles *AFB, BFC, CFD, DFA* sont égaux ; mais puisque les bases ont des côtés[139] égaux, ils sont semblables, donc les angles *AFB, BFC, CFD* et *DFA* sont égaux, donc les droites *AB, BC, CD, DA*, étant donné qu'elles sont vues sous des angles égaux, apparaissent égales. De même, les triangles *AFE, BFE, CFE* et *DFE* sont égaux et semblables, d'après ce qui précède relativement à l'égalité des hypoténuses partant des angles *A, B, C, D* jusqu'à *F*, qui est le point de l'œil. Mais *AE, BE, CE, DE* sont égales aux demi-diagonales du carré et *EF* est commun à tous les triangles, donc les angles *AFE, BFE, CFE* et *DFE* sont égaux, par conséquent les doubles des angles égaux sont aussi égaux, donc l'angle *AFC* est égal à l'angle *BFD*, donc la diagonale *AC* qui est vue sous l'angle *AFC* est égale à la diagonale *BD* qui est vue sous l'angle *BFD*. Ce qu'il fallait démontrer.

Ceci suffit dans ta requête – que Dieu te délivre des préoccupations de l'esprit et qu'Il te protège de tout interdit.

L'épître de Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī sur l'explication de l'optique sur laquelle a parlé Euclide est achevée, grâce à Dieu.
Le nombre des propositions est de 59.

[139] Ce mot "côtés" rend *al-aswuq*, litt. "jambes" qui signifie les deux côtés associés à la base de chacun des triangles ; par exemple dans le triangle *FAB* de base *AB*, il s'agit de *FA* et *FB*.

جـ و د و متساوية. وقواعد آ ب ب جـ جـ د د آ متساوية، فإذاً / مثلثات ١٠٢-ظ
آ و ب ب و جـ جـ و د د و آ متساوية، ولأن القواعد متساويات الأسوق
فهي متشابهة، فزوايا آ و ب ب و جـ جـ و د د و آ متساوية، فخطوط آ ب
ب جـ جـ د د آ إذ ترى بزوايا متساوية، فإنها ترى متساوية. وأيضًا فإن
مثلثات آ و ه ب و ه جـ و ه د و ه متساوية متشابهة لما قدمنا من تساوي
الأقطار الآخذة من زوايا آ ب جـ د إلى و التي هي علامة البصر. و<آ ه ب ه
جـ ه د ه> تساوي أنصاف أقطار المربع واشتراك ه و لجميع المثلثات،
<فزاويا آ و ه ب و ه جـ و ه د و ه متساوية>، فإذاً أضعاف الزوايا
المتساوية أيضًا متساوية، فإذاً زاوية آ و جـ مساوية لزاوية ب و د، فإذاً
قطر آ جـ الذي يرى بزاوية آ و جـ مساوي قطر ب د الذي يرى بزاوية
ب و د؛ وهو ما أردنا أن نبيّن.

وهذا فيما سألت كافٍ، كفاك الله مهمات الأمور <و>وقاك كل
محذور.

تمّ كتاب يعقوب بن إسحاق الكندي في تبيين المناظر
التي تكلم عليها أوقليدس والحمد لله.
عدد أشكاله ٥٩ شكلاً.

2 ولأن: وبات – 10 مساوي: مساويا.

NOTES COMPLÉMENTAIRES

[p. 163, *l.* 12-16] Ce petit paragraphe se retrouve dans le *De speculis* du Pseudo-Euclide :

> Procedit a pupilla uirtus luminosa imprimens in eo, cui occurrit, ex toto aere, lumen pineale, cuius uidelicet acuitas apud pupillam existit. Et quanto plus elongatur, dilatatus eius basis ; et est figura, quam lumen illud continet, piramis columnea, cuius uidelicet acumen apud aspicientem, et fines sequunter illud, quod aspicitur. Visus igitur comprehendit illud, super quod cadit illud lumen radiale ; et super quod non cadit, ipsum uisus non comprehendit". [*De speculis*, prop. 14, p. 99]

Dans la version arabe de ce texte du *De speculis*, on trouve identiquement ce même paragraphe, à quelques variantes de copie près, que notre bonne fortune a mis sur notre chemin et que nous avons établi et traduit en français, on lit :

العين ينبث من ناظرها قوة <نورية> تؤثر فيما لاقت من الجو أجمع ضياءً صنوبريًا وبه أعني مستحدّه عند الناظر نفسه، وكلما أبعدت اتسعت قاعدته ويكون الشكل الذي يحيط به ذلك الضياء مخروطًا أسطوانيًا مستحدّه عند الناظر ونهايته تلي المنظور إليه، فما وقع عليه ذلك الضياء <أدركه البصر> وما لم يقع عليه.

Al-Kindī reprendra les mêmes expressions un peu différemment dans son *De aspectibus* (comme on peut le vérifier). S'agit-il d'un paragraphe qui vient d'une quelconque traduction à partir du grec, empruntée par al-Kindī ? ou au contraire s'agit-il d'un paragraphe d'al-Kindī emprunté par ce livre arabe rendu en latin ? Pour répondre à cette question, il faut examiner cette compilation arabo-grecque du *De speculis* ; ce que nous tenterons dans une étude indépendante "La tradition arabe du *Livre des miroirs* attribué à Euclide", à paraître dans *Arabic Sciences and Philosophy*.

[p. 163, *l.* 12] Notons que le verbe *yanbathth* utilisé ici pour parler de la propagation de la "puisssance lumineuse" dont l'origine se trouve dans l'œil, appartient bien au vocabulaire d'al-Kindī et de l'optique de l'époque, ainsi qu'en témoigne le livre d'Ibn Lūqā. Ce verbe désigne à la fois l'émergence et la dispersion, et la traduction la plus fidèle serait "émerge en se dispersant", ou "en s'étendant". Ainsi, on lit dans le Coran :

فأحيا الأرض بعد موتها وبثّ فيها من كل دابة. [البقرة، ١٦٤]

> Il a fait revivre la terre après l'avoir fait mourir, avant d'y répandre des animaux de toute espèce.

C'est dire que ce verbe convient parfaitement à cette "puissance lumineuse" qui sort de l'œil. Mieux encore, il semble que ce verbe a été réservé dans cette optique aux seuls rayons émergeant de l'œil. Ainsi il disparaît complètement lorsqu'al-Kindī traite des rayons solaires dans son traité du même titre. Quant à Ibn Lūqā, il semble lui aussi le réserver à ce seul usage pour recourir dans sa catoptrique à un autre terme *yanba'tha* "émettre" pour le rayon réfléchi sur le miroir. C'est dire que ce verbe, aussi bien que ses dérivations avait un usage technique dans la doctrine de l'émission, tout au moins chez les géomètres[1]. Serait-il donc surprenant que ce terme eût disparu du vocabulaire de l'optique tardive, où le rayon visuel ne joue plus aucun rôle ? Il semble en effet qu'il soit absent de l'optique d'Ibn Sahl et de celle d'Ibn al-Haytham. En tout cas, en le rendant simplement par le verbe "procedere", le traducteur latin a laissé dans l'ombre l'idée de "dispersion".

Remarquons aussi que l'expression *quwwa nūriyya*, "puissance lumineuse", "virtus luminosa", se présente dans le livre d'al-Kindī comme dans la traduction latine sans aucun support biologique ni psychologique. Support qu'elle ne tardera d'ailleurs pas à acquérir – déjà avec Ibn Lūqā – pour s'identifier rapidement au concept galénique de *al-rūḥ al-bāṣir*, l'esprit visuel (πνεῦμα ὀπτικόν), sous lequel elle sera reconnue chez les philosophes islamiques. Mais, sans faire l'histoire de cette expression, citons ici le contemporain d'al-Kindī, Ḥunayn ibn Isḥāq [194/809 - 264/877]. Voici ce qu'il écrit dans son *Kitāb al-'ashar maqālāt fī al-'ayn*, à propos de cet "esprit visuel" :

وجنسه من جنس الروح النفساني ... فهذا الروح في خاصة نفسه نيّرٌ دون سائر الروح النفساني النافذ قوته من الدماغ في العصب إلى كل واحدة من آلات الحواس الباقية.

> Son genre [de l'esprit visuel] appartient au genre de l'esprit psychique, πνεῦμα ψυκικόν .... Cet esprit a comme propriété spécifique d'être lumineux en lui-même, à la différence de tout l'esprit psychique dont la puissance pénètre à partir du cerveau dans le nerf jusqu'à chacun des organes des sens restants". [M. Meyerhof, *The Book of the Ten Treatises on the Eye,* p. 98]

Remarquons également que le terme *al-nāẓir* désigne l'orifice noir au milieu de l'œil par lequel passe la "puissance lumineuse" – c'est-à-dire la pupille. Notons enfin que la "luminosité radiante" (*al-ḍiyā' al-shu'ā'ī – lumen radiale*), a la forme d'un cône de révolution (*makhrūṭ usṭuwānī*). Cette luminosité de forme conique est désignée à l'époque par trois termes, dont deux seulement sont employés par al-Kindī :

---

[1] Sur l'usage de ce terme dans les écrits philosophiques de l'époque, voir *Proclus Arabus, Zwanzig Abschnitte aus der* Istitutio Theologica *in arabischer Übersetzung*, Eingeleitet, Herausgegeben und Erklärt von Gerhard Endress, Beiruter Texte und Studien, Band 10 (Beyrouth, 1973), p. 109-110.

- *shu'ā' al-naẓar*, "le rayon du regard". En effet le terme *naẓara* signifie "regarder avec attention", "contempler la chose pour la saisir". Cette expression se trouve dans la *Rectification*, p. 243, *l.* 20.
- *shu'ā' al-baṣar*, "rayon de l'œil", d'où *al-shu'ā' al-baṣarī*, "rayon visuel". C'est le terme le plus usité, même si al-Kindī l'emploie peu [p. 213, *l.* 13 ; p. 245, *l.* 5]. Ibn Lūqā, en revanche, l'utilise fréquemment.
- *al-manāẓir*, terme que l'on trouve chez Ḥunayn ibn Ishāq.

C'est précisément cette expression, *al-manāẓir*, qui rend le grec ὄψεις. C'est d'ailleurs par cette même expression que débute la version A de l'*Optique*. On lit en effet *al-manāẓir min al-'ayn*, que l'on devrait rendre littéralement par "les vus à partir de l'œil", ou simplement "les vus". Ce dernier terme est absent du vocabulaire d'al-Kindī, et ne s'imposera d'ailleurs pas à l'optique des géomètres.

[Prop. 2, p. 171] Le raisonnement est valable si l'œil, sans être sur la médiatrice commune, est dans la bande définie par les deux parallèles – à tracer – *DB* et *CA*, car l'angle *HEG* est une partie de l'angle *CED*.

Si l'œil n'est pas dans cette bande, on ne pourra pas conclure par la même méthode.

Notons aussi que le raisonnement est toujours valable dans le cas plus général où les deux segments égaux et parallèles n'ont pas une médiatrice commune, si l'œil est dans la bande définie par leurs extrémités.

[p. 173, l. 1-2] Al-Kindī se réfère notamment ici à ses livres (*Rasā'il*, éd. Abū Rīda) : *La philosophie première*, p. 115-116 ; *Sur l'unicité de Dieu et la finitude du corps du monde*, p. 201-207 ; *De l'éclaircissement de la finitude du corps du monde*, p. 186-192.

[p. 173, *l.* 7] Nous avons ajouté *wa-lā 'umq*, "ni profondeur", non seulement en raison de la phrase qui précède et qui impose cet ajout, mais aussi parce que nous trouvons la même expression dans le *De aspectibus*, p. 461, lignes 34-35 : "Quod autem longitudine et latitudine et profunditate caret, non sentitur uisu".

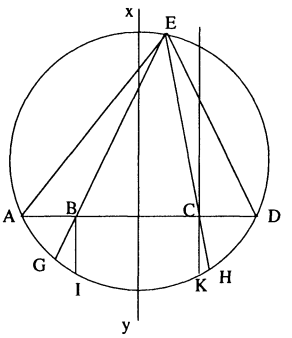
[p. 173, *l.* 21] L'expression *aṣdaq al-sabīl* n'est pas à modifier ; c'est une expression d'al-Kindī. Cf. par exemple le *Grand art*, pp. 121 et 129.

[Prop. 7, p. 183] La proposition précédente – la sixième – correspond à la première partie de la sixième proposition de l'*Optique* d'Euclide. La septième proposition correspond à son tour à la seconde partie de cette dernière.

Al-Kindī reprend les deux droites parallèles *AB* et *CD* de la proposition 6, l'œil *E* dans le plan de symétrie de la bande *AB*, *CD* ; *EF* la perpendiculaire abaissée de *E* sur l'axe de la bande.

Notons que cette hypothèse n'apparaît pas dans les versions G_1, G_2 et A, où l'on raisonne séparément sur chacune des parties de la bande.

[Prop. 8, p. 185, *l.* 14] Notons que si E vient entre les droites xy et KC, le point H vient sur l'arc KD et on a $\overset{\frown}{DH} < \overset{\frown}{DK}$. Et si E est sur la droite CK, on a $H = K$ et $\overset{\frown}{DH} = \overset{\frown}{DK}$. Ces deux cas ne sont pas envisagés.



Remarquons aussi que le résultat est vrai pour tout point de E dans le demi-plan (xy, D), comme on peut le voir aisément.

[Prop. 9, p. 187] 1) Dans le texte d'al-Kindī, le rapport $\overset{\frown}{CED} / \overset{\frown}{AEB}$ a été inversé. Ce dernier écrit alors $BE / ED > \overset{\frown}{AEB} / \overset{\frown}{CED}$; ce qui est une évidence, puisque par hypothèse $BE / ED > 1$, et on sait que $\overset{\frown}{AEB} < \overset{\frown}{CED}$, donc $\overset{\frown}{AEB} / \overset{\frown}{CED} < 1$.

2) Euclide avait établi l'inégalité suivante $EB / ED > \overset{\frown}{CED} / \overset{\frown}{AEB}$, et énoncé "les grandeurs égales ne sont pas vues en proportion des distances". Cette conclusion n'exigeait en fait aucune démonstration : elle est évidente depuis la proposition 5. Dans celle-ci, il a été montré que "de deux grandeurs égales, celle qui est la plus proche de l'œil est vue plus grande".

3) Depuis la proposition 5, on sait que si deux grandeurs égales à distances d_1 et d_2 de l'œil sont vues respectivement sous les angles α_1 et α_2, alors

$$d_1 > d_2 \Rightarrow \alpha_1 < \alpha_2 ;$$

d'où

$$\frac{d_1}{d_2} > 1 \Rightarrow \frac{\alpha_1}{\alpha_2} < 1.$$

On sait donc que

$$\frac{d_1}{d_2} \neq \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad \left(\frac{d_1}{d_2} > 1 > \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right).$$

Des propositions 5 et 9, on déduit donc

$$\frac{d_1}{d_2} > \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > 1 > \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad (\text{si } d_1 > d_2),$$

les angles α_1 et α_2 sous lesquels l'œil voit les grandeurs égales ne sont donc ni proportionnels, ni inversement proportionnels, aux distances d_1 et d_2 de l'œil à ces grandeurs.

[Prop. 10, p. 189] L'énoncé "les figures polygonales sont vues, à distance, arrondies" montre que les hypothèses doivent porter sur la position de l'œil sur la perpendiculaire au plan *ABCD*. Le point *Q* est mentionné dans le texte sans que le mot "œil" apparaisse.

Si on prend comme hypothèse que la position de *Q* est choisie pour que $QA - QG$ ne soit pas une grandeur sensible, c'est-à-dire pour que $QA \cong QG$, on trouve en conclusion $EA \cong EG$.

On a en effet *QEA* et *QEG* rectangles, par hypothèse :

$$QA^2 = QE^2 + EA^2 \text{ et } QG^2 = QE^2 + EG^2,$$

EQ est commun, donc $QA \cong QG$ implique $EA \cong EG$.

[Prop. 10, p. 191, *l.* 8-9] Le terme *jidhr* (racine) – terme non euclidien – appartient au lexique mathématique d'al-Kindī, voir notre article "Al-Kindī's Commentary on Archimedes' *The Measurement of the Circle*", *Arabic Sciences and Philosophy*, 3.1 (1993), p. 7-53, aux p. 17 et 43, *l.* 15.

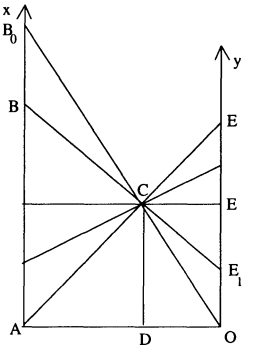
[Prop. 11, p. 191-195] Al-Kindī considère ici cinq rayons (et non quatre comme dans l'*Optique* d'Euclide] – *AB*, *AC*, *AD*, *AE* et *AF* – et ne mentionne pas l'hypothèse $AB \perp BC$, qui semble être vérifiée sur la figure du manuscrit. Cette hypothèse n'est cependant pas nécessaire. Il suffit que parmi les points *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, le point *B* soit le plus proche de *A*, et que ces points soient tous d'un même côté du pied de la perpendiculaire abaissée de *A* sur le prolongement de *BF*.

[Prop. 15, p. 205-207] Dans les propositions 13 et 14 de l'*Optique* d'Euclide, les hypothèses portant sur la position de trois segments par rapport à un plan horizontal, telles qu'elles se présentent dans les propositions 14 et 15 de la *Rectification,* ne sont pas précisées, ni la position de l'œil non plus. Euclide ne donne pas de justification. En

revanche, ici, al-Kindī précise les positions des segments et de l'œil et donne une justification des résultats.

[Prop. 17, p. 207, *l.* 5] De la proposition 16 et de la proposition 17, on peut dégager une conclusion unique :

Étant donné un segment *CD* et deux demi-droites *Ax*, *Oy* avec *A*, *D*, *O* alignés et *CD* // *Ax* // *By*, si l'œil *E* se déplace sur *Oy* à partir de *O*, la partie de *Ax*, vue en même temps que *CD*, décroît de AB_0 à zéro, B_0 étant l'intersection de *OC* avec *Ax*.



Dans les propositions 15 et 16 de G_1, on rencontre un problème un peu différent : le déplacement de l'œil se fait *horizontalement*, donc la hauteur *h* de l'œil au-dessus de *BD* est constante. Dans la proposition 15, on a $h > BD$ et, dans la proposition 16, on a $h < BD$.

Dans G_1 et les autres versions, on étudie comment varie la partie de *AB* qui n'est pas vue en même temps que *CD*, lorsque l'œil s'approche de *CD*, alors qu'al-Kindī traite la partie vue.

[Prop. 19 à 22, p. 209-215] Il s'agit d'un groupe de problèmes d'ordre pratique concernant la détermination d'une longueur que l'on ne peut pas mesurer directement : hauteur d'un arbre, profondeur d'un puits, largeur d'une vallée. La méthode consiste à utiliser d'une part le rayon visuel ou le rayon solaire et d'autre part des triangles semblables pour déterminer la longueur inconnue comme quatrième proportionnelle entre trois longueurs connues.

[Prop. 23, p. 219, *l.* 1] Dans la version arabe A de l'*Optique*, on lit, à la fin de cette proposition, l'expression suivante :

ومثل ذلك يعرض أيضًا في باطن القوس.

Et la même chose se produit également dans la concavité de l'arc.

Dans G_1 on trouve à la fin de cette même proposition une expression équivalente :

τὰ δ' αὐτὰ συμβήσεται καὶ ἐπὶ τῆς κοίλης περιφερείας
Et les mêmes choses se produiront aussi pour l'arc concave.

Il est donc très vraisemblable que cette phrase se trouvait aussi dans la version K reprise par al-Kindī, et que cette même phrase, ainsi que sa justification reproduite dans la compilation d'Ibn ʿĪsā, ont été omises au cours de la transcription du manuscrit unique que nous possédons. C'est pour parer à cette éventualité que nous donnons ici le texte copié par Ibn ʿĪsā [mss Ragip Paşa 789, fol. 95r-96r ; Laleli 2759, fol. 111r-112r].

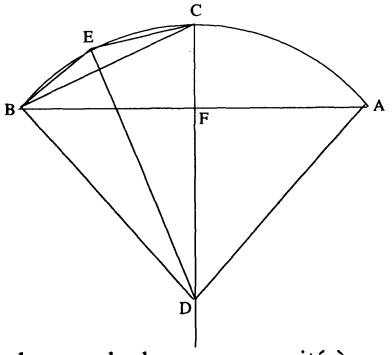
وكذلك يعرض في باطن قطعة الدائرة إذا كانت الشرائط على ما قدمنا. إن قوس ا جـ ب ترى من علامة د ، إذا نظر إليها من باطنها - خطًا مستقيمًا، كخط ا و ب أيضًا، لأن قوس ه ب وترها خط ب و، والوتر والقوس يريان بزاوية واحدة وهي زاوية ه د ب. وكذلك قوس ه جـ وترها ه جـ، فهي ووترها / يريان جميعًا بزاوية واحدة وهي زاوية جـ د ه، وكذلك قوس جـ ب ووتر جـ ب يريان جميعًا بزاوية جـ د ب. فالقوس إذاً ترى خطًا مستقيمًا.

وكذلك التدبير في الجانب الآخر من القوس الذي هو جـ ا. فقوس ا جـ ب إذاً كلها ترى من علامة د - التي هي الناظر - من باطنها خطًا مستقيمًا كخط ا و ب الذي هو وترها، ويرى خط ا و ب راكبًا لها، لأنهما جميعًا يريان بزاوية ا د ب. وكذلك خط جـ ب وخط و ب يريان جميعًا بقدر واحد من زواية و د ب.

فقد ظهر أن الأقدار المختلفة من القسي والخطوط ترى متساوية في الحس بمقادير من الوضع / لها إذا أبصرت بزوايا متساوية وذلك ما أردنا بيانه.

يعرض : يفرض [ل]

La même chose se produit dans la concavité de la portion de cercle si les conditions sont celles que nous avons introduites.



L'arc *ACB*, si on le regarde dans sa concavité à partir du point *D*, paraît également être une droite comme la droite *AFB* : en effet l'arc *EB* a pour corde la droite *EB*, et la corde et l'arc sont vus sous un même angle, qui est

l'angle *EDB* ; de même l'arc *EC* a pour corde *EC*, celui-ci et sa corde sont vus tous les deux sous un même angle, soit l'angle *CDE* ; de même l'arc *CB* et la corde *CB* sont vus tous les deux sous l'angle *CDB* ; l'arc paraît par conséquent être une droite. Le procédé est le même pour la seconde partie de l'arc, qui est *CA* ; donc, du point *D* qui est la pupille, l'arc *AB* tout entier, dans sa concavité, paraît être une droite comme la droite *AFB* qui est sa corde, et on voit la droite *AFB* superposée à l'arc car tous les deux sont vus sous l'angle *ADB*.

De même la droite *CB* et la droite *FB* paraissent toutes les deux d'une même grandeur sous l'angle *FDB*.

Il est donc manifeste que les grandeurs différentes appartenant à des arcs et à des droites paraissent égales en grandeur dans la sensation, à partir d'une position si, à partir de celle-ci, elles sont vues sous des angles égaux. Ce qu'il fallait démontrer.

Remarque 1: Dans le cas étudié dans la proposition 23, l'œil *D* est sur la médiatrice *IC* de *AB*, au delà de l'arc *ACB*. Dans ce cas, il faut supposer l'arc *ABC* inférieur à un demi-cercle et de plus, si *T* est le point d'intersection des tangentes en *A* et *B*, *T* sur *IC*, il faut supposer $ID \geq IT$.

En effet si ces conditions ne sont pas vérifiées, on a, soit *ACB* égal ou supérieur à un demi-cercle (Fig. a), soit *ACB* inférieur à un demi-cercle avec $ID < IT$ (Fig. b) ; dans ces deux cas, les droites *DA* et *DB* coupent l'arc *ACB* respectivement en *M* et *N*, c'est donc l'arc *MN* qui est vu sous l'angle *ADB* comme la corde *AB*. L'arc *ADB* n'est donc pas vu comme la corde *AB*.

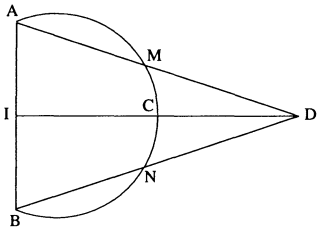


Fig. a

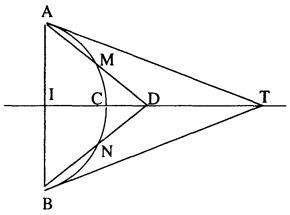


Fig. b

Dans le cas où l'œil et l'arc *ACB* sont de part et d'autre de la corde *AB*, si l'arc *ACB* est inférieur ou égal à un demi-cercle, la conclusion est exacte pour toute portion *D* de l'œil sur la médiatrice de *AB*, au delà du point *F*. Mais si l'arc *ACB* est plus grand qu'un demi-cercle et si *T* est le point d'intersection des tangentes (voir Fig. c), la conclusion est exacte si *D* est entre *F* et *T*, mais lorsque *D* est au delà de *T* c'est l'arc *MCN*, et non l'arc *ACB*, qui est vu sous le même angle que la corde *AB*.

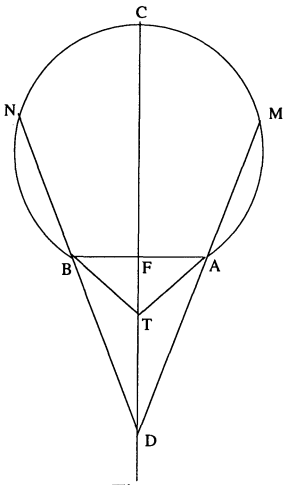


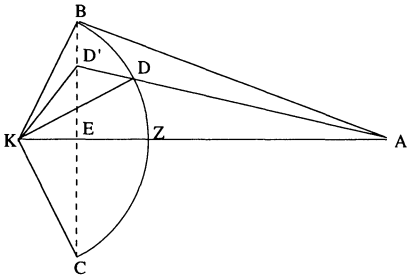
Fig. c

Remarque 2. – Les méthodes utilisées par Euclide (22 grec I) et par al-Kindī sont tout à fait différentes.

Euclide fait intervenir le centre du cercle sur lequel se trouve l'arc étudié et considère des rayons, c'est-à-dire des segments égaux, mais qui sont vus sous des angles inégaux

$$\widehat{KAB} > \widehat{KAD},$$

donc KB apparaît plus grand que KD.



La conclusion "KA restant fixe, l'arc BC lui est toujours perpendiculaire" est donnée sans justification.

Doit-on penser qu'al-Kindī considère que chaque point de l'arc $BDZC$ est vu de A au delà de sa position réelle ? Ainsi D serait vu en un point D' de la corde BC avec $KD' < KD$.

[Prop. 24, p. 219-221] Le raisonnement d'al-Kindī diffère quelque peu de celui d'Euclide. Le premier fait intervenir les tangentes en A et B pour expliquer qu'aucune droite issue de l'un ou l'autre de ces deux points ne

peut parvenir en un point F extérieur à la sphère et situé sur la médiatrice de AB sans couper le cercle de diamètre AB, et que, par conséquent, aucun rayon visuel de F ne parviendra en A ni en B, car il est arrêté par la sphère. Euclide, quant à lui, utilise le cercle de diamètre FG pour déterminer les points de contact des tangentes issues de F. Il est alors clair que les points H et I sont du même côté que C par rapport à AB. Al-Kindī mentionne, il est vrai, ce cercle qui est circonscrit aux triangles GHF et GIF, mais ne l'utilise pas dans le raisonnement.

Notons que le problème traité ici pour la sphère en considérant un œil F seulement, sera repris dans la proposition 28 en considérant les deux yeux. Le problème sera reconsidéré ensuite pour le cylindre dans la proposition 29 et pour le cône dans les propositions 30, 31 et 32.

D'autre part, l'inégalité $\overset{\frown}{IH} < \overset{\frown}{ACB}$ non démontrée ici, se retrouve avec une autre littération dans la proposition 28 où al-Kindī précise par une réduction à l'absurde la position des points correspondant à H et I. Dans la proposition 29, il précise la position de ceux-ci à l'aide de la comparaison des distances du point qui correspond à F aux points qui correspondent à H et I à ses distances aux points A et B.

[Prop. 25, p. 223-225] Al-Kindī, comme Euclide, ne justifie pas l'inégalité

$$\overset{\frown}{EF} > \overset{\frown}{IH} \quad (1).$$

On a en effet

$$\cos \overset{\frown}{EDC} = \frac{ED}{DC} \text{ et } \cos \overset{\frown}{HDG} = \frac{HD}{DG},$$

mais

$$ED = HD \text{ et } DC > DG \Rightarrow \cos \overset{\frown}{EDC} < \cos \overset{\frown}{HDG},$$

d'où

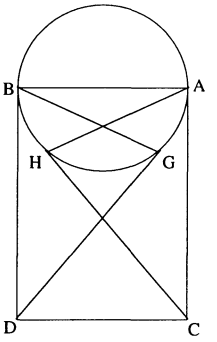
$$\overset{\frown}{EDG} > \overset{\frown}{HDG} \Rightarrow \overset{\frown}{FDE} > \overset{\frown}{IDH} \Rightarrow \overset{\frown}{EF} > \overset{\frown}{IH}$$

D'autre part, Euclide ne justifie pas l'inégalité $\overset{\frown}{ECF} < \overset{\frown}{IGH}$, qu'al-Kindī déduit de l'inégalité $\overset{\frown}{EDF} > \overset{\frown}{IDH}$ qui est une conséquence immédiate de l'inégalité (1) qu'il n'avait pas établi.

[Prop. 26, p. 225-227] Dans cette proposition comme dans les deux suivantes, l'observateur regarde une sphère AB, les deux pupilles étant les points C et D. On suppose dans les trois cas que AB et CD ont la même médiatrice. Al-Kindī le précise nettement dans les propositions 26 et 28 et

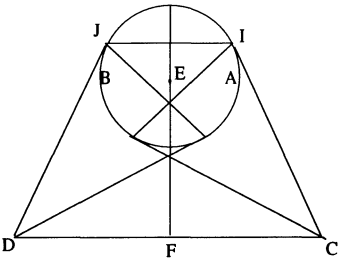
le sous-entend dans la proposition 27. Dans l'*Optique* d'Euclide $G_1 25$, cette médiatrice est tracée, et dans 26 et 27, il est sous-entendu que la médiatrice du segment joignant les pupilles passe par le centre du cercle. Dans cette même proposition 25, Euclide envisage la rotation du rectangle *ABCD* autour de la médiatrice de *AB*, mais les pupilles *C* et *D* étant supposées fixes. Le cylindre obtenu ne représente pas un faisceau de rayons visuels et ne conduit donc pas au résultat cherché. Le résultat d'Euclide repris par al-Kindī est donc faux.

Pour montrer cette erreur, réitérée dans les deux propositions suivantes, al-Ṭūsī, dans sa rédaction, considère les faisceaux associés aux yeux *D* et *C*, soit les faisceaux *BDG* et *ACH*.



L'œil *C* voit la calotte sphérique *AGH* limitée par le cercle de diamètre *AH*, dont le plan est perpendiculaire au plan de la figure. L'œil *D* voit la calotte sphérique *BHG* limitée par le cercle de diamètre *BG*. L'observateur voit donc ces deux calottes sphériques, mais il reste une partie de la demi-sphère *AGHB* qu'il ne voit pas. Il voit les extrémités du diamètre *AB*, mais dans l'espace il ne voit aucun autre point du cercle de diamètre *AB* dont le plan est perpendiculaire au plan de figure.

[Prop. 27, p. 229-231] Il est clair que l'observateur, dont les yeux sont en *C* et *D* ne verra pas toute la calotte sphérique engendré par l'arc *IABJ* autour de *FE*. Comme dans la proposition précédente, il voit les points appartenant à l'une ou à l'autre des calottes sphériques associées aux deux yeux.



[Prop. 28, p. 231] Al-Kindī montre ici par un raisonnement par l'absurde un peu différent de celui utilisé dans la proposition 24, que les points de contact G et H sont différents de A et B. Il précise de plus que ces deux points sont dans le demi-plan défini par AB et contenant le point E. Il en déduit que la droite GH est plus proche de E que la droite AC, d'où

$$\overset{\frown}{GH} < \overset{\frown}{AGHB}.$$

Cette inégalité, qui est celle utilisée pour conclure ici, n'est pas celle qui était annoncée : "Je dis que les points G et H sont plus proches de E que les points A et B". Dans la proposition 29 relative au cylindre, on retrouve aux lettres près la même figure et une démonstration des inégalités $GE < AE$, $HE < BE$.

Al-Kindī a raisonné comme si la partie de la sphère vue par les deux pupilles C et D était la même que celle vue par une seule pupille placée au point E. Comme dans les propositions 26 et 27, l'observateur ne verra pas toute la calotte sphérique engendrée par l'arc GH, mais il verra les points de chacune des calottes sphériques associées aux deux yeux.

[Prop. 29, p. 235-239] Al-Kindī avait mentionné avant de prendre un exemple que la partie du cylindre vue pour une position donnée des deux yeux est comprise entre les génératrices de contact de deux plans tangents.

Dans l'exemple et dans la démonstration, il ne mentionne pas les génératrices DD' et EE' qui limitent la partie de la surface latérale vue quand l'œil est en C, ou les pupilles en deux points tels que K et L (Fig.a).

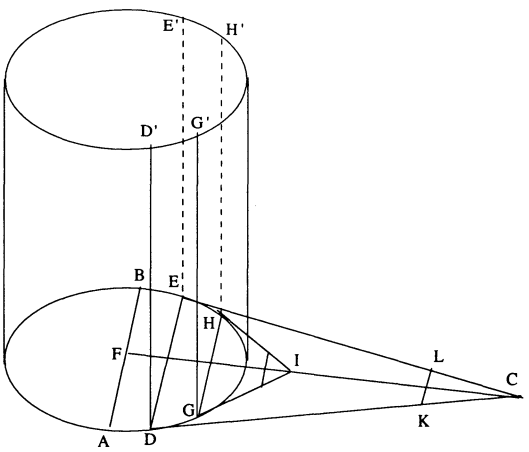


Fig. a

La tangente CD et la génératrice DD' définissent un plan tangent au cylindre, toute droite menée de C ou de K à un point de DD' est tangente

à la surface du cylindre. Il en est de même pour toute droite menée de *C* ou de *L* à un point quelconque de *EE'*. Si de chacun des points *K* et *L*, on mène les deuxièmes tangentes *KM* et *LN* au cercle de diamètre *AB* (voir Fig. b), aux points *M* et *N*, correspondent deux génératrices *MM'* et *NN'*.

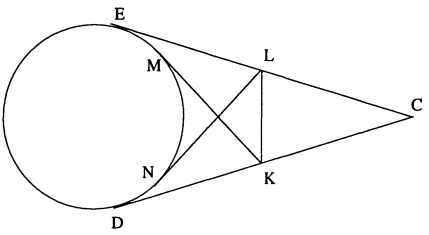


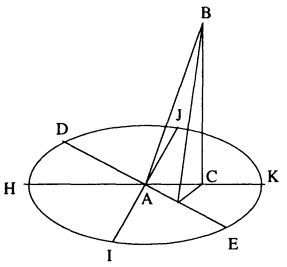
Fig. b

En tout point de la surface limitée par *DD'* et *MM'*, aboutit un rayon visuel issu de *K*, et en tout point de la surface limitée par *NN'* et *EE'*, aboutit un rayon visuel issu de *L*. Donc l'observateur voit, comme al-Kindī l'avait annoncé, toute la partie comprise entre *DD'* et *EE'*.

[Prop. 31, p. 243, *l.* 21] L'énoncé de cette proposition semble contenir quelques inexactitudes répétées dans l'exemple et dans la figure. Si en effet *BC* était un diamètre, l'intersection des plans tangents au cône le long des génératrices *DB* et *DC* ne passerait pas par un point *E* de *BC*. Le point *E* étant un point de la base du cône, *EB* et *EC* les tangentes issues de *E* au cercle de base, alors *BC* est une corde perpendiculaire au diamètre qui passe par *E*.

[Prop. 35, p. 257, *l.* 13] Deux diamètres qui ne sont pas symétriques par rapport à la droite Δ qui joint le centre du cercle à la projection de l'œil sur le plan du cercle seront vus inégaux, mais s'ils sont symétriques par rapport à Δ, ils sont vus égaux. Si on considère un des demi-cercles définis par la droite Δ, tous les demi-diamètres qui lui correspondent sont vus inégaux.

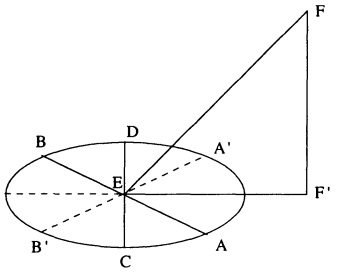
[Prop. 36, p. 259-261] Al-Kindī donne, sans démonstration, un résumé de la variation de l'angle *BAE* quand le point *E* décrit le cercle en partant du point *K* diamétralement opposé à *H*.



Il montre que quand E vient en I tel que l'angle KAI est droit, on a également l'angle BAI égal à un angle droit. Notons que si l'on tient compte de la proposition 35, il suffit de suivre le déplacement de E sur un demi-cercle. Al-Kindī affirme, sans démonstration, que l'angle BAE croît quand E décrit le cercle, on a alors le tableau suivant :

position de E	K	I	H
$\widehat{KAE}$	0	90°	180°
$\widehat{BAE}$	$\widehat{BAK}$	90°	$180° - \widehat{BAK}$

[Prop. 38, p. 273-275] On peut résumer la démarche d'al-Kindī de la manière suivante : Soit une roue $ACBD$ de centre E, et F la position de l'œil.



D'après les propositions précédentes :

si $EF \perp (ACBD)$, tous les diamètres sont vus égaux ;

si $EF = EA$, tous les diamètres sont vus égaux ;

si $EF \neq EA$ et EF est non perpendiculaire à $(ACBD)$, et si F' est la projection orthogonale de F sur le plan $(ACBD)$, alors deux diamètres non symétriques par rapport à EF' sont vus inégaux, et deux diamètres symétriques par rapport à EF' sont vus égaux.

Ce dernier cas n'est pas signalé par al-Kindī tandis qu'il l'était par Euclide dans la proposition 36 de G_1 qui conclut : "de sorte que la roue apparaît oblongue".

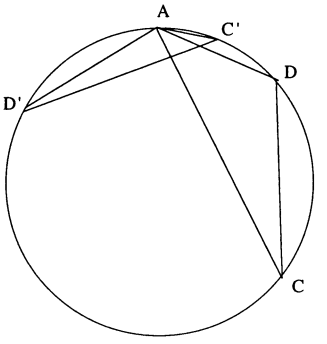
[Prop. 39, p. 275-279] La figure du manuscrit suppose que *DCGHEF* est un hexagone régulier – ou un polygone régulier de $2n$ côtés – avec $AD < DC$ et $FD = DC$.

En réalité, comme on suppose que A reste fixe et que les points C et D décrivent le cercle en gardant l'arc CD constant, il s'agit seulement de distinguer les positions pour lesquelles le point A est sur le grand arc séparé par la corde CD de celles pour lesquelles A est sur le petit arc, comme dans la position $C'D'$. Si dans le premier cas, on a

$$\widehat{CAD} = \alpha ;$$

dans le second, on a

$$\widehat{C'AD'} = \pi - \alpha.$$



Euclide donne pour sa proposition 37 un énoncé qui ne diffère pas de celui d'al-Kindī, mais il ne considère pour la grandeur regardée que deux positions très particulières, symétriques par rapport au diamètre passant par A. Il termine en signalant que "la même chose se présentera si l'œil reste au centre du cercle et la grandeur regardée se transporte sur la circonférence".

[Prop. 40, p. 279-281] Dans cette proposition, on considère le visible fixe et l'œil mobile. Or dans les propositions 39, 41, 42 et 43, c'est l'œil qui est fixe et le visible mobile. De plus, les hypothèses de cette proposition sont reprises dans la proposition 44. On peut donc se demander si cette proposition 40 est à sa place.

[Prop. 43, p. 291, *l.* 7] À la figure de l'espace, on associe une figure plane : un demi-cercle de diamètre $JH = 2r$, avec K milieu de HJ, L sur le prolongement de KH tel que $KL = l$, M et I sur le demi-cercle tels que $\widehat{LKM} = \widehat{AEF} = \alpha$, $\widehat{LKI} = \widehat{FEB} = \beta$, N et S tels que $MN = IS = KL$, $MN \,//\, IS \,//\, KL$. On sait que $\widehat{AEF} < \widehat{BEF}$, d'où $\widehat{LKM} < \widehat{LKI}$. On veut

comparer les angles $\widehat{AED}$ et $\widehat{BEC}$ sous lesquels l'œil placé en E voit les segments égaux AD et BC de longueur l.

Al-Kindī distingue trois cas :

$$\text{a) } l > r \qquad \text{b) } l = r \qquad \text{c) } l < r.$$

Dans le cas b) les parallélogrammes $IKLS$ et $MKLN$ sont des losanges, et on a

$$\widehat{IKS} = \frac{1}{2}\widehat{LKI} \text{ et } \widehat{MKN} = \frac{1}{2}\widehat{LKM},$$

d'où

$$\widehat{IKS} > \widehat{MKN}.$$

Mais dans les cas a) et c), les diagonales des parallélogrammes considérés ne sont pas des bissectrices, donc

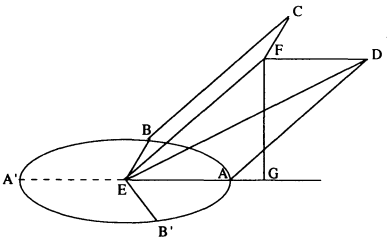
$$\widehat{IKS} \neq \frac{1}{2}\widehat{LKI},\ \widehat{MKN} \neq \frac{1}{2}\widehat{LKM};$$

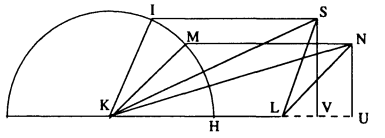
et on ne peut pas affirmer sans démonstration que $\widehat{IKS} > \widehat{MKN}$.

[Prop. 43, p. 293, *l.* 10] Il n'est pas nécessaire de distinguer ces trois cas. Quelle que soit la longueur l, les parallélogrammes $AEFD$ et $MKLN$ sont isométriques, et il en est de même pour les parallélogrammes $BEFC$ et $IKLS$, et on a

$$\widehat{AED} = \widehat{MKN} \text{ et } \widehat{BEC} = \widehat{IKS}.$$

Il s'agit donc de comparer $\widehat{MKN}$ et $\widehat{IKS}$.





On a posé $\widehat{FEA} = \alpha$ et $\widehat{FEB} = \beta$, on sait que $\alpha < \beta$ et que si B décrit le demi-cercle ABA', β croît de α à $\pi - \alpha$ et que pour deux positions B et B' symétriques par rapport à AA', on a $\widehat{FEB} = \widehat{FEB'} = \beta$.

Première méthode : Dans la figure plane, soit $NU \perp KL$ et $SV \perp KL$, on a $\widehat{MKL} = \widehat{NLU} = \alpha$, $\widehat{IKL} = \widehat{SLV} = \beta$, d'où

$$\text{tg } \widehat{LKN} = \frac{NU}{KU} = \frac{r \sin\alpha}{l + r \cos\alpha}$$

$$\text{tg } \widehat{LKS} = \frac{SV}{KV} = \frac{r \sin\beta}{l + r \cos\alpha}.$$

Mais on a :

β	α	$\pi/2$	$\pi - \alpha$
$\sin\beta$	$\sin\alpha$	1	$\sin\alpha$
$\cos\beta$	$\cos\alpha$	0	$-\cos\alpha$

donc

$$\sin\alpha < \sin\beta, \quad \cos\alpha > \cos\beta.$$

On a donc

$$\text{tg } \widehat{LKN} < \text{tg } \widehat{LKS},$$

d'où

$$\widehat{LKN} < \widehat{LKS},$$

et par conséquent

$$\widehat{KNM} < \widehat{KSI} \qquad (1).$$

D'autre part, dans les triangles *SKI* et *NKM*, on a

$$r / l = \sin \widehat{KSI} / \sin \widehat{SKI} = \sin \widehat{KNM} / \sin \widehat{NKM} \qquad (2).$$

De (1) et (2), on déduit $\sin \widehat{SKI} > \sin \widehat{NKM}$, et comme les angles sont aigus, on a $\widehat{SKI} > \widehat{NKM}$, et par conséquent

$$\widehat{BEC} > \widehat{AED}.$$

Pour deux points *B* et *B'* symétriques par rapport au diamètre *AA'*, les segments *BC* et *B'C'* qui leur correspondent seront symétriques par rapport au plan *FEA* et ils seront vus de *E* sous des angles égaux, on aura donc

$$\widehat{B'EC'} > \widehat{AED}.$$

Par conséquent le segment AD sera vu de E plus petit que le segment BC quand le point B décrit le cercle (E, r).

2e méthode. – Dans les triangles MKN et IKS, on a :

$$\widehat{MKN} + \widehat{MNK} = \widehat{MKL} = \alpha \text{ et } \sin \widehat{MKN} / l = \sin \widehat{MNK} / r$$

$$\widehat{IKS} + \widehat{ISK} = \widehat{IKL} = \beta \text{ et } \sin \widehat{IKS} / l = \sin \widehat{ISK} / r ;$$

on a donc

$$\sin \widehat{MKN} / \sin \widehat{IKS} = \sin \widehat{MNK} / \sin \widehat{ISK} = k.$$

Les angles considérés sont tous aigus, d'où

$$1)\ k < 1 \Rightarrow \sin \widehat{MKN} < \sin \widehat{IKS} \text{ et } \sin \widehat{MNK} < \sin \widehat{IKS}$$

$$\Rightarrow \widehat{MKN} < \widehat{IKS} \text{ et } \widehat{MNK} < \widehat{ISK},$$

d'où

$$\alpha < \beta ;$$

ce qui est exact.

$$2)\quad k \geq 1 \Rightarrow \widehat{MKN} \geq \widehat{IKS} \text{ et } \widehat{MNK} \geq \widehat{ISK},$$

d'où

$$\alpha \geq \beta ;$$

ce qui est impossible.

On a donc

$$\widehat{MKN} < \widehat{IKS},$$

d'où

$$\widehat{AED} < \widehat{BEC}.$$

[Prop. 46, p. 299, *l.* 5-8] L'énoncé de cette proposition est plus général que ce qui est traité dans l'exemple. Le texte indique que les droites AE et BF sont "égales et parallèles à une même droite". Dans ce cas, l'égalité $\widehat{AEB} < \widehat{AFB}$ ne sera obtenu que si $BF \perp AB$ et $AE \perp AB$, ce que la figure semble donner.

Mais plus généralement pour tout couple de points E et F symétriques par rapport à D, on aura $\widehat{AEB} = \widehat{AFB} < \widehat{ADB}$.

Le dernier paragraphe de la proposition 43 de G_1 correspond à la proposition 46 d'al-Kindī.

[Prop. 47, p. 303, *l.* 6] L'énoncé suppose E quelconque entre les points D et C, c'est-à-dire dans l'angle DBC, qui est droit par hypothèse. La droite DB est la médiatrice de AC, on a donc

$$EC < EA,$$

d'où

$$\widehat{EC} < \widehat{EDA} \ ;$$

par conséquent

$$\widehat{EAB} < \widehat{ECB} \ ;$$

si donc l'œil est au point E, le segment CB paraît plus grand que le segment AB.

Il en est de même pour tout point E situé dans l'angle CBD ou dans l'angle CBF.

Si l'œil vient en un point de la médiatrice, par exemple en D ou en F, on a

$$\widehat{BDC} = \widehat{BDA} \text{ et } \widehat{BFC} = \widehat{BFA},$$

les segments BC et BA sont vus égaux.

Si l'œil vient en un point quelconque de l'angle DBA ou de l'angle DBF, le segment BC paraîtra plus petit que le segment BA.

Remarquons que dans la figure du manuscrit, AC semble être le diamètre du cercle, et dans le texte on lit : "les droites BC, BE et BA sont égales", et "les droites BC, BD et BA sont égales", ce qui n'est vrai que si E et D sont sur le cercle du diamètre AC. Or dans l'énoncé de l'exemple, al-Kindī prend E quelconque et considère le cercle circonscrit au triangle EAC qui n'est pas nécessairement rectangle.

[Prop. 48, p. 307]

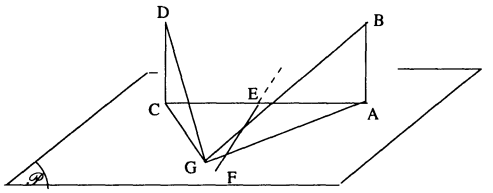
1) Dans le paragraphe <b>, désignons par $\mathscr{P}$ le plan horizontal passant par A et C et dans lequel se trouve la pupille F. Supposons G dans le plan $\mathscr{P}$, du côté de C par rapport au plan médiateur Q de AC qui est aussi le plan médiateur de BD.

On a donc $GC < GA$, ce qu'al-Kindī a montré et qui lui permettait de conclure.

On a également $GD < GB$, ce qu'al-Kindī suppose, sans le justifier, quand il écrit

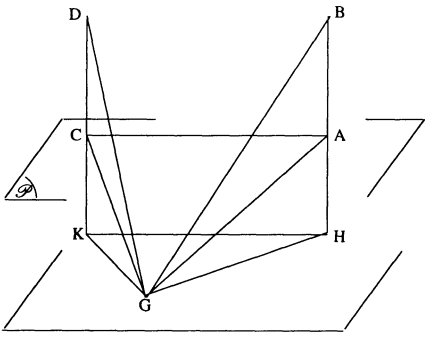
$$\frac{GB}{AB} > \frac{GD}{CD},$$

d'où il déduit $\widehat{GBA} > \widehat{GDC}$, ce qui permettait de conclure.



Le paragraphe qui suit cette inégalité "et le rapport de l'angle GBA à l'angle BGA ... de l'angle GBD à l'angle droit" n'a pas de sens. On peut d'ailleurs le supprimer et passer directement à "par conséquent l'angle AGB...".

2) Plus généralement, le résultat reste vrai pour tout point G de l'espace situé du même côté que C par rapport au plan médiateur Q.



Un plan parallèle à $\mathscr{P}$ mené par G coupe AB en H et CD en K, Q est aussi plan médiateur de KH, on a donc $GK < GH$.

Posons $AH = CK = a$, $BH = DK = b$, $KG = d_1$ et $HG = d_2$ avec $d_2 > d_1$.

On peut comparer les angles $\widehat{CGD}$ et $\widehat{AGB}$

$$\text{tg } \widehat{KGC} = \frac{1}{2}\frac{a}{d_1}, \text{ tg } \widehat{KGD} = \frac{b}{d_1},$$

d'où

$$\text{tg } \widehat{CGD} = \frac{\dfrac{a-b}{d_1}}{1+\dfrac{ab}{d_1^2}} = \frac{(a-b)d_1}{d_1^2+ab} \qquad (1)$$

On a de même

$$\text{tg } \widehat{AGB} = \frac{(a-b)d_2}{d_2^2+ab} \qquad (2)$$

On veut montrer que

$$\widehat{CGD} > \widehat{AGB} \ ;$$

or d'après (1) et (2)

$$\text{tg } \widehat{CGD} > \text{tg } \widehat{AGB}$$

$$\Leftrightarrow (a-b)\, d_1\left(d_2^2+ab\right) > (a-b)\, d_2\left(d_1^2+ab\right)$$

$$\Leftrightarrow d_2 > d_1$$

ce qui est l'hypothèse.

Donc de G le segment CD est vu plus grand que le segment AB.

[Prop. 49, p. 307, *l.* 15] Al-Kindī considère encore un cas particulier où l'arc AED et l'arc BEC sont des demi-cercles.

[Prop. 50, p. 309] La critique adressée ici à Euclide ne s'applique ni au texte grec, ni à celui de la version A. Dans G_1, G_2 et A, on prend deux segments contigus et sur chacun d'eux, l'arc capable d'un angle aigu quelconque, alors qu'al-Kindī prend deux segments quelconques sur une même droite et fait intervenir deux demi-cercles. Dans le cas des segments non contigus (dans la proposition 49), on pouvait obtenir une solution plus générale en construisant sur chacun des segments AD et BC, l'arc capable d'un angle quelconque α, leur intersection répond au problème. À chaque valeur de α correspond une solution. La solution d'al-Kindī est celle qui correspond à $\alpha = \pi/2$.

[Prop. 58, p. 329, *l.* 23] Cette proposition ne fait intervenir que la notion de diamètre apparent et il suffisait alors de considérer deux segments au lieu de trois. Les hypothèses donnent immédiatement

$$\text{tg } \widehat{EAD} > \text{tg } \widehat{BAC} \text{ et tg } \widehat{EAD} < \text{tg } \widehat{GAF}$$

et par conséquent

$$\widehat{EAD} < \widehat{BAC} \text{ et } \widehat{EAD} < \widehat{GAF}.$$

2. TEXTE ET TRADUCTION

Livre de Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī sur les rayons solaires

Kitāb Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī fī al-shuʿāʿāt al-shamsiyya

Au nom de Dieu Clément et Miséricordieux
De qui nous implorons le secours

LIVRE DE YA'QŪB IBN ISḤĀQ AL-KINDĪ

SUR LES RAYONS <SOLAIRES>

Que Dieu donne longue vie au Prince des Croyants, et qu'il perpétue sa prospérité, son soutien et ses bienfaits ; qu'il accomplisse son bonheur et qu'il anéantisse son ennemi.

La science de l'émission des rayons solaires et de leurs réflexions à partir des corps qui les réfléchissent, et des angles produits par eux, et des rapports des distances des points auxquels ils se réfléchissent à partir des corps réfléchissants, n'est pas de faible importance pour rendre pénétrantes les âmes humaines, pour les édifier, et pour élever leur pensée au-dessus des choses animales qui obscurcissent leur vue ; car ceci est la propriété du genre de la science qui se rapporte à cela, c'est-à-dire[1]... <D'après ce qui était possible de la confection de celui qui a convenablement préparé ce miroir ardent, on peut alors penser que, à partir de ce que (les anciens) ont supposé en cela, cela n'est pas possible, car nous ne voyons jamais que, si nous construisons ces miroirs, ils enflamment, si ce n'est lorsqu'ils font face au soleil. La position que nous cherchons à atteindre, si elle n'est pas vis-à-vis des rayons du soleil, mais inclinée dans une autre direction ou à l'opposé de celle-là, il n'est pas possible que nous y parvenions par ce qu'ils ont posé à propos de ces miroirs, pour une position dans laquelle il faut embraser à une grande distance, seulement en agrandissant tout le miroir. Ceci contraint donc à nier la possibilité de ce que les anciens ont supposé à propos de ce miroir.

[1] Coupure dans le manuscrit, partiellement restaurée grâce à la traduction arabe du texte d'Anthémius de Tralles.

بسم الله الرحمن الرحيم
وبه نستعين

كتاب يعقوب بن إسحاق الكندي
في الشعاعات ‹الشمسية›

أطال اللّه بقاء أمير المؤمنين، وأدام عزه، وتأييده، وفضائله، وكمل سعادته، وأباد عدوه.

إنه ليس بصغير الخطر علمُ مخارج الشعاعات الشمسية وانعكاساتها عن الأجرام العاكسة لها، والزوايا الحادثة عنها، ونِسَبُ أبعاد النقط التي تنعكس إليها من الأجرام العاكسة، في تذكية الأنفس الإنسانية، وتهذيبها، ورفع فكرها عن الأشياء البهيمية المعمية أبصارها، فإن هذه خاصة جنس العلم المحيط به، أعني... ‹لِما تقدَّر من تهيئة من هيأ هذه المرآة المحرقة؛ فقد يُظن أنه لا يمكن بما وضعوا من ذلك، لأنا لا نرى المرايا أبداً، إذا نحن فعلنا فعلت لهبًا إلا أن تكون قبالة الشمس. فالموضع الذي يقصد قصده، إن لم يكن بحيال شعاع الشمس، بل كان مائلاً إلى ناحية أخرى أو إلى ما خالف ذلك، فليس بممكن أن يكون بما وضعوا في هذه المرايا مع طول المسافة إلى الموضع الذي تحتاج إلى الإحراق فيه وتعظم المرآة في الجملة فقط؛ فإن ذلك يضطرّ إلى أن يكون ما وضع القدماء فيها غير ممكن. ولما لم يكن بجائز

3 بن: ابن – 7 الخطر: مهملة – 10 المعمية: كذا، والصواب «المعماة» بتشديد الميم الثانية، وفعلها «عمَّى»، أو «المُعماة» بضم الميم الأولى وتسكين العين، وفعلها «أعمى» – 11 أعني: بعدها بياض في الأصل حتى نهاية الصفحة. أضفنا هذه الفقرة من ترجمة أنثاميوس العربية التي حققناها ونقلناها إلى الفرنسية لسببين: أوّلهما، أن الفقرة التالية هي نفسها في هذه الترجمة العربية، وثانيهما أن الكندي نفسه يعقب على هذه الفقرة بقوله «فهذا قول أنثاميوس» وهو صحيح. وهذا النص الذي أضفناه يسد جزءاً كبيراً من الثغرة ولكن لا يسدها كلها، فما زال ينقص ما قاله الكندي حول «خاصة جنس» علم مخارج الشعاعات الشمسية، كما زال ينقص السؤال الذي وضعه، وهو نفس سؤال أنثاميوس: كيف نصير شعاعًا شمسيًا إلى موضع يبعد عنا بما لا يقل عن ملقى سهم ؟

Or, comme il n'est pas permis de tenir pour fausse l'opinion d'Archimède
3 le sage sur laquelle tout le monde s'accorde pour dire qu'il> / a brûlé les vaisseaux de ceux qui lui faisaient la guerre, par les rayons[2] du soleil ; il a fallu, à cet égard, établir cela nécessairement : ce qui est en effet possible. Nous allons considérer cela autant qu'il nous est possible, en posant comme préparation des préliminaires et un petit nombre de choses auxquels nous sommes tenus par nos desseins concernant la confection des miroirs.

C'est ce qu'a dit[3] Anthémius. Or Anthémius devait n'accepter aucune connaissance sans démonstration en mathématiques, ni surtout dans l'art de la géométrie, ni non plus imposer une chose sans démonstration. Il a représenté comment on peut construire un miroir sur lequel vingt-quatre rayons se réfléchissent vers un seul point ; mais il n'a pas montré comment le point, sur lequel se réunissent les rayons, est à la distance que nous voulons du centre de la surface du miroir.

Nous allons représenter cela de manière aussi claire et aussi accessible que possible, en le montrant par des démonstrations géométriques ; et représenter l'autre aspect[4], qu'il a mentionné, aussi clairement que nous le permettent nos capacités ; et en cela nous complétons ce qui manquait, car il n'a pas mentionné une distance donnée. Nous ordonnons cela, après être parvenu au but qui est le nôtre, pour que la compréhension de ce qu'il a dit soit facile pour celui qui aime le comprendre, à ceux qui aiment accroître <leurs connaissances> en mathématiques.

– 1 – Pour tout angle limité par deux surfaces[5] dont chacune est faite de lignes droites, qui reçoit les rayons du soleil, et tel que la droite menée de lui[6] au centre du soleil le partage en deux moitiés, les rayons qui se réfléchissent en deux points quelconques des deux surfaces qui entourent l'angle et dont la distance <au sommet> de l'angle est la même, et qui sont
4 avec la droite qui / a partagé l'angle en deux moitiés dans un même plan, rencontrent la droite qui a partagé l'angle en deux moitiés en un seul point, et ce point sur lequel se sont rencontrés les deux rayons est le centre d'un cercle dont la circonférence passe[7] par <le sommet de> l'angle et les deux points en lesquels se sont réfléchis les rayons.

Exemple : Soit l'angle B délimité par les deux faces AB et BC dont chacune est faite de lignes droites. Le rayon du soleil tombant dans l'angle

---

[2] Dans le vocabulaire d'al-Kindī, le terme *shu'ā'* est un terme générique. Il l'emploie parfois comme pluriel au sens de faisceau, parfois comme singulier. Nous traduisons selon le sens.

[3] Qu'Archimède a brûlé les vaisseaux.

[4] Il s'agit du point sur lequel se réunissent les rayons, et de la distance.

[5] Il s'agit d'un angle dièdre; les deux surfaces planes sont ses faces et il est représenté par son angle plan.

[6] C'est-à-dire d'un point de l'arête du dièdre qui est le sommet de l'angle plan.

[7] Litt. : touche.

إبطال رأي أرشميدس الحكيم الذي اتفق الجميع على الحديث به بأنه› / أحرق مراكب المحاربين له بشعاع الشمس، وجب من هذه الجهة إثبات ذلك ٣
– فإنه ممكن – باضطرار. فنحن ناظرون في ذلك بقدر ما يمكننا، واضعون لتهيئة ذلك مقدمات وأشياءَ يسيرة نحن إليها مضطرون فيما نريد من تهيئة المرايا.

فهذا قولُ أنثاميوس. وقد كان يجب على أنثاميوس ألاّ يقبل خبراً بغير برهان في التعاليم وفي صناعة الهندسة خاصة، ولا يوجب أيضًا شيئًا بغير برهان. وقد مثل كيف يعمل مرآة تنعكس منها أربعة وعشرون شعاعًا على نقطة واحدة، ولم يبيّن كيف كَوْنُ النقطة التي يجتمع عليها الشعاع على أيّ بعد شئنا من وسط سطح المرآة.

ونحن ممثلون ذلك على أوضح ما يمكننا وأقربه، ومبينوه بالبراهين الهندسية، والجهةَ الأخرى التي ذُكِرَ على أوضح ما تبلغه طاقتنا، ونتمم من ذلك ما كان ناقصًا، فإنه لم يذكر بُعداً مفروضًا، ونرتب ذلك بعد أن نأتي بموضع غايتنا نحن، ليكون فهم ما قال سهلاً على من أحب فهمه من محبي التكثير في المعلومات.

– آ – كلُّ زاوية يحيط بها سطحان، كل واحد منهما من خطوط مستقيمة، يقع فيها شعاع الشمس، ويكون الخط الذي يخرج منها إلى مركز الشمس يقسمها بنصفين، فإن الشعاع الذي ينعكس من كل نقطتين من السطحين اللذين يحيطان بالزاوية ‹ويكون› بعدهما من الزاوية بُعداً واحداً، ويكونان والخط الذي / قسم الزاوية بنصفين ‹في سطح› واحد، ٤
يلتقي بالخط الذي قسم الزاوية بنصفين على نقطة واحدة، وتكون تلك النقطة التي التقى عليها الشعاعان مركزاً لدائرة يماس خطها المحيط الزاوية والنقطتين اللتين انعكس منهما الشعاع.

مثال ذلك: أن زاوية ب أحاط بها سطحا آ ب ب جـ المستقيما الخطوط. وقد وقع شعاع الشمس الذي هو خط د ب في زاوية ب، وقسمها بنصفين، وخرج شعاعان من الشمس إلى نقطتي ز ط من سطحي آ ب ب جـ وبعدهما

4 واضعون: واصفون / لتهيئة: لتهية / وأشياء: اشيا – 5 تهيئة: تهية – 6 أنثاميوس (الأولى والثانية): اثناميوس / ألا: كتبت كما في الإملاء القديم «أن لا»، ولن نشير لهذا مرة أخرى – 13 بعد أن: بعد اذ، وهذا ممكن مع التأويل – 16 زاوية: زواية – 19 اللذين: الذين – 21 يلتقي: كتب الناسخ في الهامش أمام «واحد يلتقي»: كذا / بالخط: من الخط – 22 الشعاعان: الشعاعات / مركزاً: مركز – 24 المستقيما: المستقيم – 26 إلى: من.

B, qui est la droite *DB*, partage l'angle *B* en deux moitiés. Deux rayons émanent du soleil vers les points *G* et *I* des deux faces *AB* et *BC* dont la distance à *B* est la même ; ce sont les rayons *FG* et *HI* ; ils sont parallèles et parallèles à la droite *DB*. L'angle *FGA* est égal à l'angle *DBA*. Mais le rayon *FG* s'est réfléchi <suivant *GE*> au <point> *E* de la droite *DB*, donc l'angle *EGB* est égal à l'angle *FGA*[8]. L'angle *EGB* est donc égal à l'angle *EBA* ; la droite *EG* est donc égale à la droite *EB*.

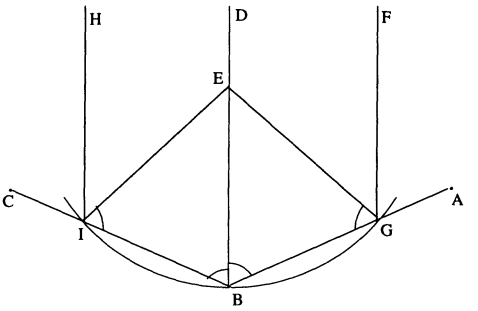


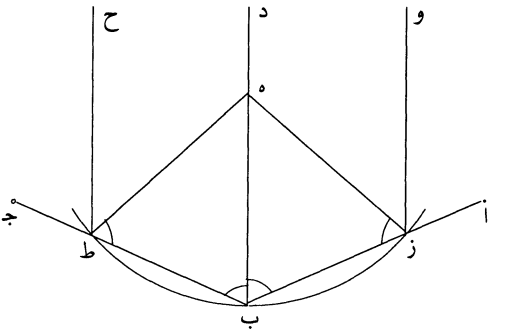
Fig. 1

Mais comme *IB* est égal à *BG*, que les deux angles *B* sont égaux, la droite *EB* commune, et l'angle *HIC* égal à l'angle *CBD*, alors l'angle *EIB*
5 est égal à l'angle *CBD*. / La base *EI* est donc égale à la base *GE* et la droite *IE* est égale à la droite *EB*. Les droites *EI*, *EB*, *EG* sont donc égales et le point *E* est le centre d'un cercle qui passe par *I*, *B*, *G*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 2 – Si nous voulons construire un angle[9] dont les deux faces réfléchissent les rayons en un point qui est à une distance donnée, nous divisons cette distance par la longueur de l'une des deux faces égales, nous traçons une droite à volonté que nous divisons en parties égales dont le nombre est égal au nombre obtenu dans la division de la distance par la longueur de la face sur laquelle nous voulons que le rayon se réfléchisse. Nous faisons ensuite l'une des extrémités de la droite que nous avons tracée, centre d'un cercle <ayant pour rayon> la longueur de cette droite. Nous marquons ensuite des deux côtés de la droite sur la circonférence du cercle, deux points dont la distance à l'extrémité de la droite qui touche la circonférence du cercle est la même et est égale à l'une des parties de la droite. De chacun de ces deux points, menons une droite jusqu'à l'extrémité de la droite qui est entre le centre et la circonférence. L'angle
6 obtenu est donc égal / à l'angle dont les deux faces, de <longueur> donnée, réfléchissent les rayons à la distance donnée.

[8] D'après les lois de la réflexion sur un miroir plan.
[9] Angle dièdre.

من ب واحد، وهما شعاعا و ز ح ط؛ فهما متوازيان وموازيان لخط د ب. فزاوية و ز ا مثل زاوية د ب ا. وقد انعكس شعاع و ز إلى ه من خط د ب، فزاوية ه ز ب مثل زاوية و ز ا. فزاوية ه ز ب مثل زاوية ه ب ا، فخط ه ز مثل خط ه ب.



ولأن ط ب مثل ب ز، وزاويتا ب متساويتان، وخط ه ب مشترك، وزاوية ح ط ج مثل زاوية ج ب د، تكون زاوية ه ط ب مثل زاوية ج ب د./ فتكون قاعدة ه ط مثل قاعدة ز ه وخط ط ه مثل خط ه ب. فخطوط ه ط ه ب ٥ ه ز متساوية، فنقطة ه مركز لدائرة تماس ط ب ز؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– ب – إذا أردنا أن نعمل زاوية يعكس سطحاها الشعاع على نقطة ذات بُعْد معلوم، فإنا نقسم ذلك البعد على بُعد أحد السطحين المتساويين، ونخط خطًا كيف شئنا ونقسمه بأقسام مستوية عددها عدّة ما قسم به <بعد> السطح البعد الذي أردنا أن نعكس الشعاع عليه. ثم نعمل أحد طرفي الخط الذي خططنا مركزاً لدائرة وببعد الخط. ثم نعلم على جنبي الخط على محيط الدائرة علامتين <يكون> بعدهما من طرف الخط الذي يماس محيط الدائرة بُعداً واحداً مساوياً لأحد أقسام الخط. ونخرج من كل واحدة من العلامتين إلى طرف الخط الذي ما بين <المركز و>المحيط خطًا. فتكون الزاوية مساوية / للزاوية التي يعكس سطحاها المعلومان الشعاع إلى البعد المعلوم. ٦

3 ه ز ب (الثانية): ه ط ب – 5 وخط: أضافها الناسخ في الهامش مع الإشارة إلى موضعها – 11 مستوية: من استوى، أي تماثل وتعادل، وفي موضع آخر نجد «متساوية» وهي الكلمة المستعملة – 13 نعلم: كتبها الناسخ فيما بعد «نتعلم»، والأخيرة هي لغة الكندي – 14 علامتين: علامتان.

Exemple : Que la distance à laquelle nous voulons que le rayon se réfléchisse soit la distance *AB* et que la longueur de l'une des deux faces qui réfléchissent le rayon soit une droite *C*. Traçons une droite quelconque, qui est la droite *GH*, et faisons en sorte que la droite *C* mesure la droite *AB* par le nombre de parties *AD*, *DE*, *EB* ; que ces parties soient égales. Partageons la droite *GH* en parties égales en même nombre que les parties de la droite *AB* ; soient *GI*, *IJ*, *JH*. Traçons du point *G* et à la distance *GH* le cercle *FH* et marquons sur le cercle des deux côtés de *H* les deux points *K* et *L* tels que la distance de chacun de ces points au <point> *H* soit égale à la longueur *JH* ; joignons *H* aux points *K* et *L*.

Je dis que les deux côtés de l'angle *LHK* réfléchissent les rayons[10] au point *G*.

Démonstration : Si la droite *HG* est menée au centre du soleil, alors les rayons tombant aux deux points *K* et *L* sont parallèles à la droite *GH*, il s'ensuit que les rayons se réfléchissent au point *G*, car il est le centre du cercle, comme nous l'avons montré dans la proposition précédente. L'angle *GHK* est égal à l'angle *GKH* ; de même l'angle *GHL* est égal à l'angle *GLH*, donc l'angle *LHK* tout entier est l'angle dont les deux rayons des côtés[11] se réfléchissent au point *G*, car nous avons montré dans la proposition précédente que la moitié de l'angle dont les deux côtés réfléchissent le rayon est égale à l'angle formé par le rayon réfléchi et la
7 surface qui / le réfléchit.

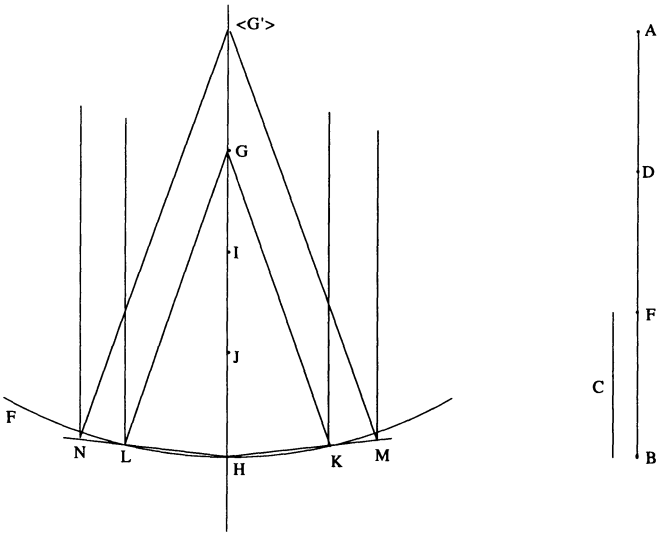


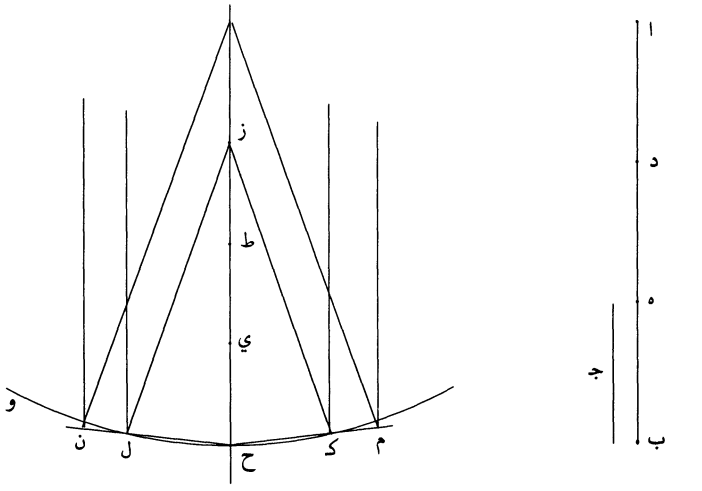
Fig. 2

[10] Il s'agit des rayons solaires tombant en *K* et *L*.
[11] Voir note précédente.

مثال ذلك: أن نُصَيِّر البعد الذي أردنا أن نعكس إليه الشعاع بُعدَ آ ب و<بعد> أحد السطحين اللذين يعكسان الشعاع خط جـ. فنخط خطًا - كيف وقع - وهو خط زَ ح، ونصيّر خط جـ يَعُدّ خط آ ب بعدّة أقسام آ د د ه ه ب؛ ولتكن هذه الأقسام متساوية. ونقسم خط زَ ح أقسامًا متساوية بعدّة أقسام خط آ ب، وهي زَ ط ط ي ي ح. ونخط على نقطة زَ وببعد زَ ح دائرة و ح، ونعلم على الدائرة عن جنبتي ح علامتي كـ لَ ونصيّر بُعد كل واحدة منهما من ح بطول ي ح، ونصل ح بعلامتي كـ ولَ.

فأقول: إن زاوية لَ ح كـ يعكس ضلعاها الشعاع على نقطة زَ.

برهان ذلك: أن خط ح زَ إذا خرج إلى مركز الشمس، كان الشعاع الذي يخرج إلى نقطتي كـ لَ موازيًا لخط زَ ح، فيكون إذن انعكاس الشعاع إلى نقطة زَ لأنها مركز الدائرة، لأنا قد بيّنّا ذلك في الشكل الذي قبل هذا. وتكون زاوية زَ ح كـ مثل زاوية زَ كـ ح، وكذلك زاوية زَ ح لَ مثل زاوية زَ لَ ح، فجميع زاوية لَ ح كـ هي التي ينعكس شعاعا ضلعيها على نقطة زَ، لأنا قد بيّنّا في الشكل الذي قبل هذا أن نصف الزاوية التي يعكس ضلعاها الشعاع مثل الزاوية التي تحدث من الشعاع المنعكس والسطح الذي / عكسه. ٧



2 اللذين: الذين - 6 علامتي: علامتا - 8 ضلعاها: نقلها الناسخ «معلها»، ثم كتب فوقها «كذا» وأضاف في الهامش «صوابه ضلعاها»، وهو ما أخذنا به / الشعاع: أي الشعاعان الواقعان في كـ ولَ - 10 موازيًا: موازٍ.

Si nous prolongeons les deux droites *HK* et *HL* jusqu'à ce qu'elles aboutissent aux deux points *M* et *N* tels que chacune des droites *MH* et *HN* soit égale à la droite *C*, alors les rayons se réfléchissent de *M* et de *N* en un point dont la distance au point *H* est égale à la droite *AB*, car le rapport de *GH* à *HK* est égal au rapport de *AB* à *HM*. L'angle *GHK* est commun[12], l'angle suivant lequel se réfléchit le rayon au point *M* est égal à l'angle *GHK*, et *GHK* est égal à l'angle *GKH* ; l'angle suivant lequel se réfléchit le rayon au point *M* est donc égal à l'angle *GKH*. Il reste donc l'angle *HGK* égal à l'angle[13] qui se forme dans le plus grand triangle engendré par deux droites, dont chacune est égale à la distance *AB*, et par la droite *HM* qui est égale à la droite *C*. Les deux triangles sont semblables ; le rapport de *GH* à *HK* est donc égal au rapport de *AB* à *HM* et *HM* est égal à *C* ; le rapport de *GH* à *HK* est donc égal au rapport de *AB* à *C*.

Nous avons donc déterminé un angle dont les deux faces ont une longueur égale à la droite *C* et réfléchissent les rayons[14] au point dont la distance <au sommet> est égale à la distance *AB*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 3 – Puisqu'on a établi la distance du point auquel se réfléchit le rayon qui tombe sur <l'une> des extrémités des deux faces qui entourent l'angle à partir duquel se réfléchit le rayon, <au sommet> de l'angle, montrons à quelle distance <du sommet> de l'angle se coupent tous les rayons <réfléchis>.

8 Supposons / que cet angle soit l'angle *ABC* ; menons une droite qui le partage en deux moitiés, soit la droite *BD*. Que les rayons réfléchis aux points *A* et *C* se rencontrent au point *D*. On a mis précédemment en évidence que chaque rayon qui se réfléchit sur la droite *BC* devient parallèle à la droite *CD*. Soit le faisceau plan de rayons parallèles[15] réfléchis sur la droite *BC* dans le plan *CDE* ; supposons *BE* égal à *CD* pour que *DE* soit égal à *BC* ; et soit le faisceau plan de rayons parallèles réfléchis[16] sur la droite *AB*, dans le plan *DAB*. Supposons *AD* égal à *BF* pour que *DF* soit égal à *AB*. Marquons le point *G* là où *AD* a coupé *BE* et le point *H* là où *CD* a coupé *BF* ; joignons *GH*. Alors les deux parallélogrammes *ABFD* et *DCBE* sont égaux et semblables car chacun a un angle égal à un angle de l'autre et un côté égal à un côté de l'autre, et

[12] Commun aux deux triangles *HGK* et *HG'M*.
[13] Angle *HG'M*.
[14] Il s'agit des rayons tombant en *M* et *N*.
[15] Litt. : le rayon plan ... parallèle à celle-là (*sic*).
[16] Litt. : le rayon plan ... parallèle à celle-là (*sic*).

فإذا زدنا في خطيّ ح ك وح ل حتى ينتهيا إلى نقطتي م ون على استقامة وصيّرنا كلّ واحد من خطيّ م ح ح ن مساويًا لخط جـ، انعكس الشعاع من م ومن ن على نقطة بُعدها من نقطة ح مثل خط ا ب، لأن نسبة ز ح إلى ح ك مثل نسبة ا ب إلى ح م. وزاوية ز ح ك مشتركة، والزاوية التي ينعكس منها الشعاع عند نقطة م مثل زاوية ز ح ك، وز ح ك مثل زاوية ز ك ح، فالزاوية التي ينعكس منها الشعاع عند نقطة م مثل زاوية ز ك ح. فتبقى زاوية ح ز ك مثل الزاوية التي تحدث في المثلث الأكبر الحادث من خطين، كل واحد منهما مساوٍ لبعد ا ب، ومن خط ح م المساوي لخط جـ. والمثلثان متشابهان، فنسبة ز ح إلى ح ك كنسبة ا ب إلى ح م، وح م مثل جـ، فنسبة ز ح إلى ح ك كنسبة ا ب إلى جـ.

فقد حددنا الزاوية التي تعكس الشعاع من سطحين مساويَيْ الطول لخط جـ <على النقطة> التي هي <على> بُعد مساوٍ لبعد ا ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– جـ – فإذ قد تبيّن بُعد العلامة التي ينعكس عليها الشعاع الواقع على نهايات السطحين المحيطين بالزاوية المنعكس عنها الشعاع من الزاوية، فلنبيّن البعد من الزاوية التي تقاطع عليها الشعاعات كلها.

فنفرض / الزاوية زاوية ا ب جـ ونخرج منها خطًا يقسمها بنصفين وهو ٨
خط ب د. وليكن الشعاع المنعكس من علامتي آ وجـ يلتقي على علامة د. وقد تقدم إيضاح أن كل شعاع ينعكس من خط ب جـ فهو موازي خط جـ د. فليكن الشعاع السطحي المنعكس عن خط ب جـ المتوازي إليها بين سطح جـ د ه، ونفرض ب ه مثل جـ د ليكون د ه مثل ب جـ، والشعاع السطحي المنعكس من خط ا ب المتوازي إليها بين سطح د ا ب. ونفرض ا د مثل ب و ليكون د و مثل ا ب، ونتعلم حيث قاطع ا د ب ه علامة ز وحيث قاطع جـ د ب و علامة ح، ونصل ز ح. فسطحا ا ب و د د جـ ب ه متساويان متشابهان، لأن لكل واحد منهما زاوية <مساوية لزاوية> من الآخر، وضلعًا

1 ينتهيا: ينتهيان – 4 ز ح ك: ز ح ط ى – 11 مساويي: مساوي – 12 هي: كتب الناسخ فوقها حرف الخاء، ولعل الخطأ الذي يشير إليه هو عدم استقامة العبارة / مساوٍ: مساوي – 17 ا ب جـ: ا ب د – 20 إليها: لا نجد هذه الكلمة إلا في هذا الموضع وفي السطر الذي يليه مما يرجح وجود تصحيف في النص – 25 وضلعًا: وضلع.

les angles opposés, dans chacun d'eux, sont égaux, et de même les côtés car l'angle *DAB* est égal à l'angle *DCB*, le côté *AB* est égal au côté *BC* et le côté *DC* est égal au côté *DA* ; alors le côté de chacun d'eux est égal à son homologue de l'autre et chaque angle <de l'un> est égal à son homologue, car si un angle dans l'un des parallélogrammes est égal à son homologue de l'autre, alors l'opposé de l'un est égal <à l'opposé> de l'autre, les deux angles qui restent sont égaux, donc les deux angles qui restent dans l'un des parallélogrammes sont égaux aux deux angles qui
9 restent dans l'autre. La droite / *BD* est une diagonale de chacun des parallélogrammes *ABDF* et *CBDE*, donc l'angle *EBD* est égal à l'angle *CDB*. Mais il a déjà été établi dans une précédente proposition de notre livre que les droites *DA*, *DB*, *DC* sont égales ; la droite *AD* est par conséquent égale à la droite *DB* et le triangle *ADB* est isocèle et égal au triangle *CDB* ; donc l'angle *CDB* est égal à l'angle *ADB*. Mais il est clair que l'angle *CDB* est égal à l'angle *EBD*, donc les deux côtés *GB* et *GD* sont égaux et cette figure *BGDH* a quatre côtés parallèles <deux à deux>, donc la droite *BG* est égale à *DH* qui lui est opposée et *DG* est égale à *BH* qui lui est opposée ; ses côtés sont donc égaux. La droite *GH* est une
10 diagonale du parallélogramme / *GDHB*, donc elle coupe l'autre diagonale *BD* en deux moitiés[17].

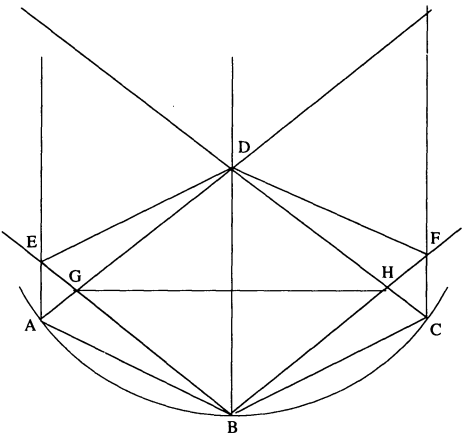
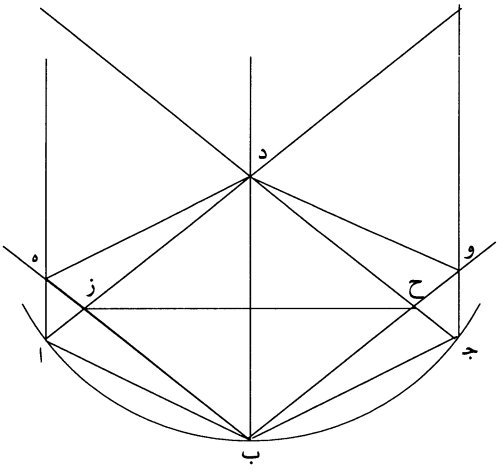


Fig. 3

[17] Voir note complémentaire.

مساوياً ضلعاً من الآخر، وزوايا كل واحد منهما المتقابلة متساوية، وكذلك الأضلاع، لأن زاوية د ا ب مثل زاوية د ج ب وضلع ا ب مثل ضلع ب ج، وضلع د ج مثل ضلع د ا، فضلع كل واحد منهما مساوٍ نظيره من الآخر، وكل زاوية مساوية نظيرتها، لأنه إذا ساوت زاوية واحد من أحد السطحين المتوازيين نظيرتها من الآخر، فإن مقابلة كل واحدة مثلُها، فتبقى الباقيتان متساويتين. فالباقيتان من أحد السطحين مساويتان الباقيتين من الآخر. وخط / ب د قطر لكل واحد من سطحي ا ب د و ج ب د ه، فزاوية ه ب د ٩ مثل زاوية ج د ب. وقد تقدم في غير هذا الشكل من كتابنا أن خطوط د ا د ب د ج متساوية، فإذن خط ا د مساوي خط د ب، فمثلث ا د ب متساوي ‹الأضلاع› ومساوٍ مثلث ج د ب، فزاوية ج د ب مثل زاوية ا د ب. وقد اتضح أن زاوية ج د ب مثل زاوية ه ب د، فضلعا ز ب ز د متساويان، ولشكل ب ز د ح أربعة أضلاع متوازية، فخط ب ز مساوي د ح المقابل له، ود ز مساوي ب ح المقابل له، فأضلاعه متساوية. فخط ز ح قطر للشكل المتوازي / الأضلاع المحيط به ز د ح ب، فهو يقطع قطر ب د الآخر ١٠ بنصفين.



1 مساوياً: مساوي – 4 واحد: واحداً – 6 متساويتين: متساويتان – 7 سطحي: سطح – 10 متساوي: مساوي / ومساوٍ: ومساوية.

La droite *GH* est celle sur laquelle se coupent les rayons parallèles qui émanent de la droite *AB* et les rayons parallèles qui émanent de la droite *BC*. Donc les rayons qui émanent des faces *AB* et *BC* se coupent[18] à la moitié de la distance à laquelle se réfléchissent les rayons <venant> de l'extrémité des faces, c'est-à-dire les deux rayons réfléchis en *A* et *C*.

– 4 – On a donc montré comment construire un miroir ardent de la manière que nous voulons, car si nous prenons un gabarit[19] qui a un angle limité par deux côtés égaux, comme le gabarit *ABCD*, et tel que les rayons se réfléchissent sur ses extrémités – comme les deux extrémités *A* et *C* – en un point à une distance donnée <du sommet> de l'angle comme le point *D*, et que, par ce gabarit, nous rectifions la face d'un miroir dont le diamètre est égal à la longueur du gabarit, en mettant <le sommet de> l'angle du gabarit au centre du miroir, en faisant tourner le gabarit tout en gardant <le sommet> de l'angle fixé au centre du miroir de sorte que
11 le miroir soit vu touché par le gabarit d'un contact sans défaut, / alors les rayons réfléchis sur toute la surface du miroir se coupent à la moitié de la distance[20] ; à la moitié de la distance <se trouvent> donc les endroits des rayons réfléchis où la chaleur est la plus forte ; c'est donc l'endroit où l'embrasement est le plus fort.

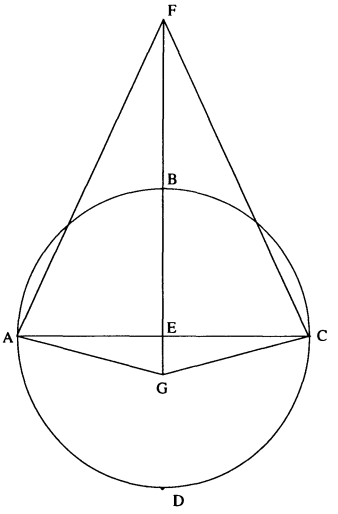


Fig. 4.1

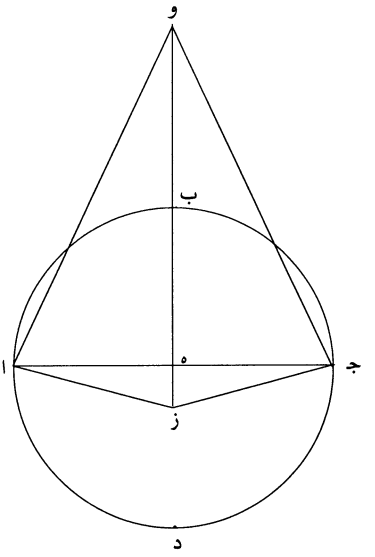
[18] Litt. : sont.

[19] Litt. : règle.

[20] D'après la proposition précédente [cf. note complémentaire], les rayons réfléchis se coupent deux à deux sur *GH*, et dans la rotation, autour de *BD*, *GH* engendre un cercle (Fig. 3).

وخط زَ حَ هو الذي تقاطع عليه الشعاعات المتوازية الخارجة من خط آ ب والشعاعات المتوازية الخارجة من خط ب جـ. فالشعاعات الخارجة من سطحي آ ب بَ جـ تكون على نصف البعد الذي تنعكس عليه شعاعات نهاية السطحين، أعني الشعاعين المنعكسين من آ ومن جـ.

5 – دَ – فقد تبيّن كيف نعمل المرآة المُحْرِقة على أي وجه شئنا، لأنا إذا اتخذنا مسطرة ذات زاوية متساوية الخطين المحيطين بالزاوية كمسطرة آ ب جـ د، ينعكس بنهايتها الشعاع – كنهايتي آ وجـ – على علامة معلومة البعد من الزاوية كعلامة دَ، فقوّمنا بها سطح وجه مرآة مساوية القطر لطول المسطرة، بأن نصيّر الزاوية في مركز المرآة وندير المسطرة وزاويتها راكزة
10 في مركز المرآة حتى تُرى المرآة، بأن تماسها المسطرة مماسة لا خلل / فيها، ١١ فإن الشعاعات المنعكسة عن جميع سطح المرآة تتقاطع على نصف البعد؛ فنصف البعد أشد مواضع الشعاعات المنعكسة عن المرآة حراً، فهو أشدها إحراقًا.



3 شعاعات: كتبها الشعاعات ثم صححها – 7 آ ب جـ د: آ ب ر جـ / ينعكس: تنعكس.

Par ce procédé ingénieux, l'embrasement nous sera plus facile à quelque distance que nous voulons, car ce gabarit est plus facile à perfectionner que ceux que nous avons construits ou qu'a construits l'un des anciencs Grecs, constructions dont le témoignage nous est parvenu.

Pour que notre propos soit plus clair, supposons que le miroir <a un bord> circulaire, tel que le cercle *ABCD* ayant pour centre le point *E*. Imaginons que ce miroir a une profondeur allant jusqu'au point *G* et que la droite *GE* est perpendiculaire à *AC*, et que deux droites menées du point *G* aux deux extrémités de l'un de ses diamètres entourent <avec *EG*> des angles égaux, et sont les deux droites *AG* et *CG*. Si nous rectifions la surface intérieure du miroir par le gabarit que nous avons déjà décrit, de sorte que le gabarit tourne à l'intérieur d'une manière régulière et que les extrémités du gabarit tracent un cercle comme le cercle *ABCD*, il émane <des points> du cercle des rayons qui se rencontrent en un seul point, car il est possible de mener des extrémités de chaque diamètre du cercle, deux droites *AG* et *GC*, au point *G*. Il se forme, de ces deux droites et du diamètre, un triangle égal à la forme triangulaire du gabarit. Pour deux droites menées du <point> *G* aux deux extrémités d'un diamètre, deux rayons se réfléchissent[21] <sur ces extrémités>. Mais les droites sont menées <en nombre> infini, donc les rayons sont continus sur le cercle, par une continuité circulaire. La démonstration de la réunion des rayons <réfléchis> en un seul point est
12 faite au moyen du procédé précédent. Ce / qu'il fallait démontrer.

Nous trouvons de même la distance[22] du point auquel se réfléchit le rayon à partir[23] du plus grand cercle du miroir d'une manière plus facile que précédemment.

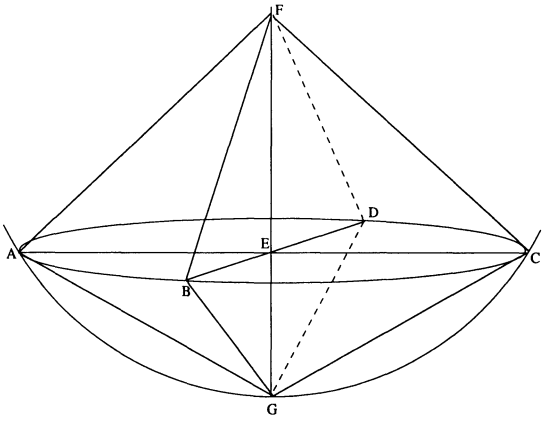


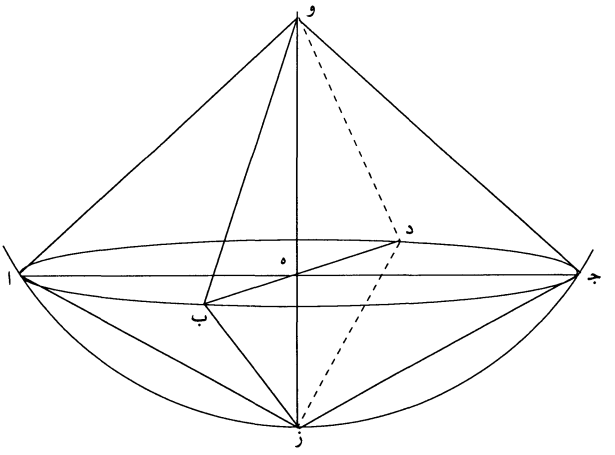
Fig. 4.2*

[21] et se coupent en un point *F* de la droite *EG* (voir note complémentaire 4.1)
[22] Litt. : le rapport de la distance.
[23] Le rayon tombant en un point du plus grand cercle du miroir.
* Cette figure n'est pas dans le manuscrit.

وبهذه الحيلة يسهل علينا الإحراق على أي بُعد شئنا، لأن هذه المسطرة أسهل اتقاناً من غيرها مما عملنا أو عمل أحد من قدماء اليونانيين ممن انتهى إلينا خبر عمله.

وليكن القول أوضح: نفرض المرآة مستديرة كدائرة ا ب جـ د، ومركزها نقطة هـ، ولنتوهمها ذات عمق إلى نقطة زَ، ويكون خط زَ هـ عموداً على ا جـ، ويكون كلُّ خطين يخرجان من نقطة زَ إلى طرفي قطر من أقطارها يحيطان بزوايا متساوية كخطي ا زَ جـ زَ. فإنا إذا قوّمنا سطح باطن المرآة بالمسطرة التي قدمنا وصفها كما ذكرنا حتى تدور فيها دوراً مستوياً وترسم أطراف المسطرة دائرة كدائرة ا ب جـ د، خرج من الدائرة شعاعات تلتقي على نقطة واحدة، لأنه يمكن أن نخرج من طرفي كلّ قطر يقع فيها خطي ا زَ زَ جـ إلى نقطة زَ، ويحدث منهما ومن القطر مثلث مساوٍ لتثليث المسطرة. فمن كل خطين من الخطوط التي تخرج من زَ إلى طرفي القطر ينعكس شعاعان. والخطوط تخرج بلا نهاية. فالشعاعات متصلة على دائرة اتصالاً مستديراً. والبرهان على اجتماع الشعاعات في نقطة واحدة بالتدبير الذي قدمنا. وذلك ما أردنا أن نبيّن. ١٢ /

وأيضاً نجد نسبة بُعد العلامة التي ينعكس عليها الشعاع من أعظم دائرة في المرآة بجهة أسهل مما قدمنا.



4 كدائرة: كداير – 7 بزوايا: كتبها الناسخ «بزولها» ثم كتب فوقها «كذا» – 8 تدور: يدور – 10 يقع: يقطع – 17 هذا الشكل ليس في المخطوطة.

Démonstration : Prolongeons la perpendiculaire *GE*, menons le rayon réfléchi en *A* jusqu'à ce qu'ils se rencontrent, et marquons par *F* le point où ils se rencontrent. Les deux angles *E* sont droits et l'angle *AGE* est commun aux deux triangles *AGF* et *AGE* ; il reste l'angle *EFA* égal à l'angle *EAG*[24]. Les deux triangles *AGE* et *AFE* sont semblables, donc le rapport de *GE* à *EA* est égal au rapport de *AE* à *EF*. Ce qu'on obtient du produit de *AE* par lui-même est donc égal à ce qu'on obtient du produit de *GE* par *EF*. Ce qu'on obtient de la division par *GE* du produit de *AE* par lui-même est donc égal à *EF*. La distance du point auquel se réfléchit le rayon à partir du plus grand cercle du miroir au centre du miroir est égale à ce qu'on obtient de la division du produit du demi-diamètre du plus grand cercle du miroir par lui-même par la perpendiculaire menée du centre du miroir au diamètre du plus grand cercle du miroir, <quotient> auquel on ajoute cette perpendiculaire. Ce qu'il fallait démontrer.

– 5 – Le rayon mené à la surface d'un miroir sphérique concave et le rayon réfléchi sur ce miroir coupent le plus grand cercle de la sphère du miroir qui achève le miroir selon deux droites égales.

Exemple : Supposons que le miroir sphérique concave soit d'une concavité <définie par> l'arc *AB* et que le rayon mené au point *B* soit la droite *CB*, et complétons le plus grand cercle[25] de la sphère du miroir
13 *AB*, qui est le cercle *ABH*. Marquons / par *D* le point où le cercle coupe la droite *BC*. Menons du point *B* une droite qui sous-tend un arc sur le cercle *ABHD*, et qui soit égale à la droite *DB* ; soit la droite *BE*.

Je dis que le rayon *CDB* se réfléchit du point *B* au point *E*.

Démonstration : Le rayon se réfléchit sur les corps suivant des angles égaux, donc l'angle *HBD* entouré par la corde *BD* et l'arc *HB* est égal à

[24] Cette affirmation est inexacte – voir chapitre III et note complémentaire 4.2.

[25] Voir note complémentaire.

برهان ذلك: أن نخرج عمود ز ه على استقامة ونخرج الشعاع المنعكس من آ إليه حتى يلتقيا، ونتعلم حيث التقيا علامة وَ. وزاويتا هَ قائمتان، وزاوية آ ز ه مشتركة لمثلثي آ ز و آ ز ه، فتبقى زاوية ه و آ مثل زاوية ه آ ز. فالمثلثان <آ ز ه آ و ه> متشابهان، فنسبة ز ه إلى ه آ كنسبة آ ه إلى ه و. فالذي يكون من تضعيف آ ه بذاته مساوٍ للذي يكون من تضعيف ز ه بـ ه و. فالذي يحصل من قسمة الذي يجتمع من تضعيف آ ه بذاته على ز ه مساوي ه و. فإذن بُعد العلامة التي ينعكس عليها الشعاع من أعظم دائرة في المرآة من مركز المرآة مساوٍ للذي يحصل من قسمة المجتمع من تضعيف نصف قطر أعظم دائرة تقع في المرآة بذاته على العمود الخارج من مركز المرآة إلى قطر أعظم دائرة تقع في المرآة مزيداً عليه هذا العمود؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– هَ – الشعاع الواقع على سطح المرآة المقعرة السطح تقعيراً كُريًّا والشعاع المنعكس منها يقطعان أعظم دائرة في كرة تلك المرآة المتممة لها بخطين متساويين.

المثال: أن نفرض المرآة المقعرة تقعيراً كريًّا بقوس آ ب، والشعاع الواقع على علامة ب خط جـ ب، ونتمم أعظم دائرة تقع في كرة مرآة آ ب، وهي دائرة آ ب ح، ونرسم حيث / قاطعت خط ب جـ علامة دَ، ونخرج من ١٣ علامة ب خطًا يوتّر من دائرة آ ب ح د قوسًا، ويساوي خط د ب وهو خط ب ه.

فأقول: إن شعاع جـ د ب ينعكس من علامة ب إلى علامة هَ.

برهان ذلك: أن الشعاع ينعكس من الأجرام على زوايا متساوية، فزاوية ح ب د التي يحيط بها وتر ب د وقوس ح ب مساوية زاوية ه ب آ التي

2 حتى يلتقيا: أضافها الناسخ في الهامش مع الإشارة إلى موضعها هكذا «حتى يلتقيان» – 3 ه آ ز: آ ز ه – 5 مساوٍ: مساوي / بـ ه و: به – 10 مزيداً: مزاداً، على أنها اسم مفعول من «أزاد» ولا وجود لهذا الفعل في الفصحى، ولقد وجدناه من قبل في ترجمة قسطا بن لوقا لكتاب ذيوفنطس في المسائل العددية، فلعله من استعمال المولدين – 12 المنعكس: للمنعكس – 16 آ ب ح: آ ب ج – 17 آ ب ح د: آ ب جـ د – 20 فزاوية: وزاوية – 21 ح ب د: جـ ب د / ب د: جـ ب / ح ب: ب د / مساوية: مساوي / ه ب آ: ب ه آ.

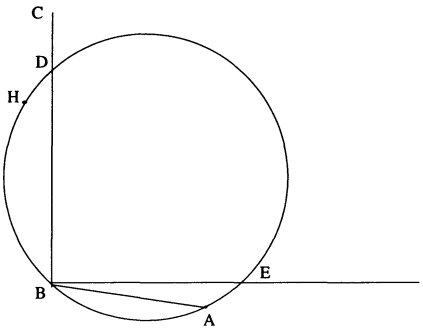


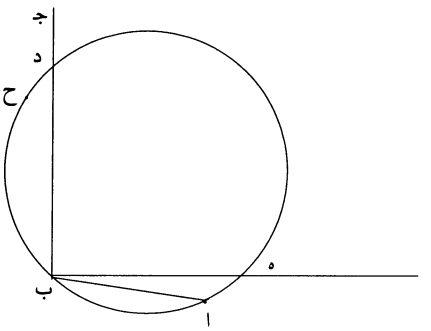
Fig. 5

l'angle *EBA* entouré par la corde *EB* et l'arc *BA*, donc les arcs *BD* et *BE* sont égaux. Mais puisque les deux portions de cercle sous-tendues par les deux droites *DB* et *BE* sont égales, alors ces deux droites sont égales. Ce qu'il fallait démontrer.

– 6 – <a> Le rayon réfléchi sur la surface d'un miroir sphérique concave ne passe jamais par le centre de la sphère, sauf l'unique rayon[26] qui tombe sur le miroir en passant par le centre[27], c'est-à-dire celui qui est le diamètre de son cercle ; c'est le seul qui se réfléchit sur lui-même.

Exemple : Supposons le miroir sphérique concave <défini par> l'arc *AB* dont le centre est *C*. Achevons le plus grand cercle dans la sphère, qui
14 est le cercle *ABCD*. Marquons / *E* le centre du cercle, le diamètre du cercle mené du point *C* passe nécessairement par le centre du cercle ; supposons *D* son autre extrémité, alors le diamètre est *CED*. Supposons le rayon émanant du soleil, vers le miroir *ACB* qui fait face au soleil, jusqu'au point *B* de celui-ci, la droite *BF* parallèle au diamètre *CD* – car les rayons qui émanent du soleil vers les corps sont suivant des trajectoires parallèles, comme nous l'avons montré. Menons de *B* une autre droite égale à la droite *BF* qui coupe le cercle, soit la droite *BG ;* et marquons son intersection avec la droite *CE* par le point *H*. Menons de *C,* qui est le centre du miroir, une droite quelconque au cercle qui ne passe pas par le centre *E* ; soit la droite *CI*.

[26] L'unique rayon solaire.
[27] Litt. : le centre du miroir.



يحيط بها وتر ه ب وقوس ب ا، ‹فقوسا ب د ب ه متساويتان›. ولأن قطعتي الدائرة – اللتين يوترهما خطا د ب وب ه – متساويتان، ‹فالخطان› متساويان؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– وَ – الشعاع المنعكس عن سطح المرآة الكرية التقعير لا يمرّ على مركز كرتها منه أبداً إلا الشعاع الواحد الواقع على مركز المرآة، أعني الذي هو قطر دائرتها، فإنه وحده ينعكس على ذاته.

المثال: أن نفرض المرآة الكريّة التقعير قوس ا ب ومركزها جـ، ونتمم أعظم دائرة تقع في كرتها وهي دائرة ا ب جـ د، ونتعلم / عند مركز الدائرة ١٤ هَ، وقطر الدائرة الخارج من علامة جـ يمرّ على مركز الدائرة اضطراراً، ونفرض دَ نهايته الأخرى، فالقطر جـ ه د. ونفرض الشعاع الخارج من الشمس إلى مرآة ا جـ ب المقابلة للشمس إلى علامة ب منها خط ب و الموازي لقطر جـ د، لأن الشعاعات تخرج من الشمس إلى الأجرام متوازية السموت كما بيّنا، ونخرج من ب خطًا آخر مساويًا خط ب و ‹و›يقطع الدائرة، وهو خط ب ز، ونتعلم حيث قاطع خط جـ ه علامة حَ. ونخرج من جـ التي هي مركز المرآة خطًا إلى الدائرة – كيف وقع – لا يمرّ على المركز الذي هو هَ، وهو خط جـ ط.

1 ه ب: جـ ب / ولأن: لأن – 2 خطا: خطي / متساويتان: المتساويان – 3 متساويان: متساويتان – 10 الأخرى: الاجراه، كتب الناسخ فوقها كلمة «كذا» / فالقطر: القطر – 13 مساويًا: مساوي.

Je dis que *BG*, le rayon réfléchi au point *B*, ni aucun autre rayon, ne passe pas par *E* sauf le rayon *DC* qui se réfléchit sur lui-même.

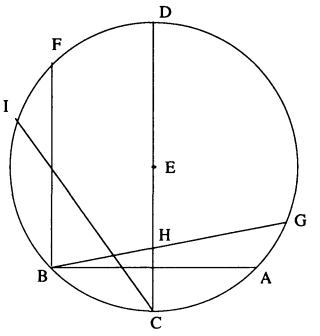


Fig. 6a

Démonstration : Le rayon *FB* se réfléchit suivant des angles égaux[28] ; par conséquent la droite *BG* est le rayon réfléchi en *B*. Puisque *FB* est égal à *BG*, l'angle *GBC* est donc égal à l'angle *FBI*[29] et *FB* est plus petit que le diamètre car il lui est parallèle. La droite *BG* est donc plus petite que le diamètre et toute droite qui coupe le cercle et passe par son centre est un diamètre ; la droite *GB* ne passe donc pas par *E* car elle n'est pas un diamètre, mais elle est plus petite que le diamètre.

Tout rayon émanant du soleil et qui coupe le cercle selon une droite plus petite que le diamètre, se réfléchit donc suivant une droite qui coupe le cercle, plus petite que le diamètre, car elle est égale à la droite qui coupe le cercle, / émanant du soleil vers le miroir.

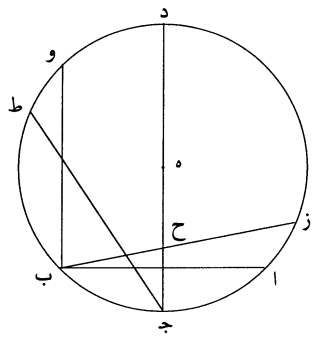
Et il n'est pas possible que le rayon émanant du soleil suivant le diamètre, vers le miroir, se réfléchisse autrement que sur lui-même, car s'il se réfléchissait sur un autre que lui-même, <le rayon réfléchi> ne passerait pas par *E*, mais par un autre point, comme la droite *CI*. Mais si la droite *CI* était un rayon réfléchi au <point> *C*, alors l'angle *DCA* serait égal à l'angle *ICB*. Or *DCB* est égal à *DCA* et *ICB* est une partie de *DCB*, donc *ICB*, la partie, serait égale à *DCB*, le tout ; ce qui est absurde et ne se peut pas. Le rayon ne se réfléchit donc en *C* que suivant la droite *CED* et aucun rayon réfléchi sur le miroir *ACB* ne passe par *E*, autre que le rayon mené de *C*. Ce qu'il fallait démontrer.

---

[28] Voir note complémentaire 6.1.

[29] Ces angles sont définis par des cordes égales et les arcs correspondants, ils sont donc égaux.

فأقول: إن ب ز الذي هو الشعاع المنعكس من علامة ب لا يمرّ على ه ولا غيره من الشعاعات إلاّ شعاع د جـ وحده، فإنه ينعكس على ذاته.



برهان ذلك: أن شعاع و ب ينعكس على زوايا متساوية، فخط ب ز هو إذن الشعاع الذي انعكس من ب. لأن و ب مساوي ب ز، فزاوية ز ب جـ مساوية زاوية و ب ط، وو ب أصغر من القطر لأنه موازٍ له، فخط ب ز أصغر من القطر، وكل خط قطع الدائرة ومرّ على مركزها فهو قطر، فخط ز ب لا يمرّ على ه لأنه ليس بقطر، بل أصغر من القطر.

فكل شعاع خرج من الشمس فقطع الدائرة بخط أصغر من القطر، انعكس شعاعه بخط يقطع الدائرة أقصر من القطر لأنه مساوي الخط القاطع للدائرة / الخارج من الشمس إلى المرآة. ١٥

والقطر لا يمكن أن يُعكس الشعاع الخارج من الشمس عليه إلى المرآة على غير ذاته، لأنه إن انعكس على غير ذاته لم يرجع على ه بل على غيرها، كخط جـ ط. فإن كان خط جـ ط شعاعًا انعكس من جـ، فإن زاوية د جـ ا مساوية زاوية ط جـ ب؛ ود جـ ب مساوية د جـ ا، وط جـ ب بعض من د جـ ب، فـ ط جـ ب البعض مثل د جـ ب الكل؛ هذا خلف لا يمكن. فليس ينعكس الشعاع من جـ إلا ‹على› خط جـ ه د، وليس شعاع آخر ينعكس من مرآة ا جـ ب يمرّ على ه غير الشعاع الخارج من جـ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

4 ب: ب ا / ب ز: د ز – 5 و ب ط: و ب ك – 14 ط جـ ب (الثانية): ط جـ ا – 16 إلا: الى / جـ ه د: جـ ه ز – 17 ا جـ ب: ا د ب.

<b> Dès lors, nous montrons que le rayon réfléchi au <point> *A* coupe *CE* au point *H* également, comme la droite *AHK*, et qu'il ne peut en être autrement.

Démonstration : *AJ* est égale à *BF* car elles sont parallèles et parallèles à la droite *DC* ; leur distance à la droite *DC* est la même et elles sont perpendiculaires à la droite *AB*, étant donné que *DC* coupe *AB* selon des angles droits. Marquons par *L* le point d'intersection de *DC* et de la droite *AB* ; la distance *AL* est donc égale à la distance *BL* et *KA* est égale à *JA*[30], donc l'angle *KAC* est égal à l'angle *JAG* ; mais *JAG* est égal à *FBK* <qui est égal à *GBC*>, par conséquent *KAC* est égal à *GBC*. Si on retranche l'angle *LBC* et l'angle *LAC*, il reste *GBL* égal à *KAL*. La perpendiculaire *HL* est commune et les deux angles *L* sont droits, donc les côtés *HA* et *LA* sont égaux à *HB* et *LB*[31], donc *HA* est égale à *HB*.

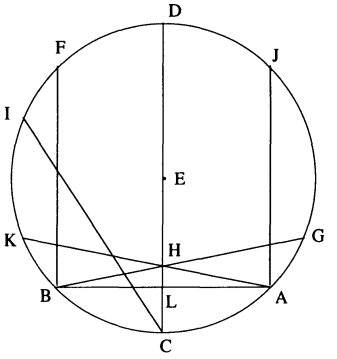


Fig. 6b

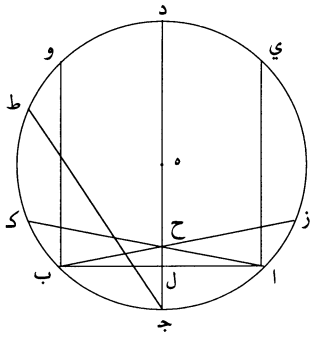
16 Si donc *AH* / n'est pas une partie de la droite *AK*, elle doit passer au-dessous ou au-dessus de *AK*. Si elle passait au-dessus, alors l'angle *HAC* serait plus grand que l'angle *KAC*, plus grand par conséquent que l'angle *HBC* ; mais on a montré précédemment qu'il[32] est égal à *HBC* ; ce qui est absurde et ne se peut pas. Il est donc impossible que la droite *HA* soit au-dessus de *KA*, ou au-dessous, car l'angle *KAC* serait par conséquent plus petit que l'angle *HBC* ; or on a montré précédemment qu'il lui est égal. Donc *HA* n'est ni au-dessus ni au-dessous de *KA*, donc elles sont confondues ; *HA* est une partie de *KA*. Les deux droites *AK* et *BG* se coupent donc en *H*. Ce qu'il fallait démontrer.

---

[30] *KA* = *JA* résulte de la proposition 5.
[31] Voir note complémentaire 6.2.
[32] Il s'agit de *KAC*.

وهنالك نبيّن أن الشعاع المنعكس عن آ يقطع جـ ه على علامة حَ أيضًا، كخط آ حَ كـ، لا يمكن غير ذلك.

البرهان: آ يَ مساوٍ بَ وَ لأنهما متوازيان وموازيان خط دَ جـ، فبعدهما من خط دَ جـ بُعدٌ واحدٌ، وهما واقعان على خط آ بَ على زوايا قائمة، فـ دَ جـ يفصل آ بَ على زوايا قائمة. ونتعلم حيث قاطع دَ جـ خط آ بَ علامة لَ، فبُعد آ لَ مساوٍ بُعد بَ لَ، وكـ آ مساوٍ يَ آ، فزاوية كـ آ جـ مثل زاوية يَ آ زَ؛ ويَ آ زَ مثل وَ بَ كـ، فهي إذن مثل زَ بَ جـ. وتُلقى زاوية لَ بَ جـ وزاوية لَ آ جـ، فتبقى زَ بَ لَ مساوية كـ آ لَ. وعمود حَ لَ مشترك وزاويتا لَ قائمتان، فضلعا حَ آ لَ آ مساويان حَ بَ لَ بَ، فـ حَ آ مثل حَ بَ.



فإن كان آ حَ / ليس جزء خط آ كـ المستقيم، فهو يمرّ أسفل منه أو فوقه. ١٦
فإن مرّ فوقه، فزاوية حَ آ جـ أعظم من زاوية كـ آ جـ، فهي إذن أعظم من زاوية حَ بَ جـ؛ وقد كان تقدم أنها مثل حَ بَ جـ؛ هذا خلف لا يمكن. فليس يمكن أن يكون خط حَ آ فوق كـ آ ولا تحته، لأن زاوية كـ آ جـ إذن تكون أصغر من زاوية حَ بَ جـ؛ وقد كان تقدم أنها مثلها. فليس حَ آ فوق كـ آ ولا أسفل منه، فهو عليه؛ فـ حَ آ جزء كـ آ. فخطا آ كـ بَ زَ يتقاطعان على حَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

4 بُعد واحد: بعدا واحدا – 6 كـ آ جـ: كـ آ دَ – 7 زَ بَ جـ: زَ بَ – 8 لَ آ جـ: لَ آ دَ / زَ بَ لَ: زَ دَ لَ / كـ آ لَ: آ لَ – 9 حَ بَ: حَ لَ – 10 آ كـ: آ دَ – 11 كـ آ جـ: حَ آ جـ – 14 كـ آ: دَ آ – 15 بَ زَ: آ زَ.

Dès lors, on a montré que si deux rayons se réfléchissent en deux points dont la distance au centre du miroir est la même, ils se rencontrent en un seul point – autre que le centre – du diamètre mené du centre du miroir au centre du plus grand cercle de la sphère qui l'achève. Ce qu'il fallait démontrer.

– 7 – Nous voulons déterminer le point par lequel passe le rayon réfléchi en un point donné du miroir sphérique concave, point sur la droite menée du centre du miroir au centre du plus grand cercle de la sphère qui l'achève.

Soit le cercle *ABD* et soit la droite *CED* le diamètre mené du point *C* qui passe par le centre du <grand> cercle ; que le centre soit le point *E*. Nous voulons déterminer le point de la droite *CE* par lequel passe le rayon réfléchi au point *B*.

Menons du <point> *B* une droite qui coupe le cercle *ABD* et qui est
17 parallèle à la droite *CD*, soit la droite *BF* ; joignons *BE* / et construisons au point *B* de la droite *BE* un angle égal à <l'angle> *FBD*, soit l'angle *GBC*[33]. Marquons *H* le point où la droite *BG* a coupé la droite *CE*.

Je dis que *H* est le point de la droite *CE* par lequel passe le rayon réfléchi au point *B*.

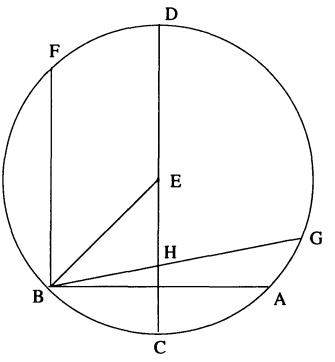


Fig. 7

[33] Voir note complémentaire 7.1.

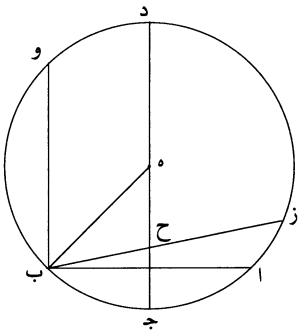
وهنالك تبيّن أن كل شعاعين انعكسا من علامتين بُعدهما من مركز المرآة بُعدٌ واحدٌ، يلتقيان على علامة واحدة دون المركز من القطر الخارج من مركز المرآة إلى مركز الدائرة العظمى من الكرة المتممة لها؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– زَ – نريد أن نَحُدّ العلامة التي يمرّ عليها الشعاع المنعكس من علامة مفروضة من المرآة المقعّرة السطح تقعيراً كريًا من الخط الخارج من مركز المرآة إلى مركز الدائرة العظمى من الكرة المتممة لها.

‹لتكن› دائرة ا ب د، وليكن القطر الخارج من علامة جَ المارّ على مركز الدائرة خط جـ ه د والمركز منه علامة هَ. ونريد أن نحدّ العلامة التي يمرّ عليها الشعاع المنعكس من علامة بَ من خط جـ ه.

فنخرج من بَ خطًا يقطع دائرة ا ب د موازيًا خط جـ د وهو خط ب و، ونصل ب ه / ونقيم على علامة بَ من خط ب ه زاوية مساوية و ب د وهي ١٧ زاوية ز ب جـ. ونتعلم حيث قاطع خط ب ز خط جـ ه علامة حَ.

فأقول: إن حَ هي العلامة التي يمرّ عليها الشعاع المنعكس من علامة بَ من خط جـ ه.



1 تبيّن: نبين – 2 بُعد واحد: بعدا واحدا – 3 العظمى: العظيمة، واقترح الناسخ في الهامش تصحيحها – 9 جـ ه د: كتبها أوّلاً جـ د، ثم أضاف الهاء فوق السطر – 11 موازيًا: موازي – 12 و ب د: و ر د.

Démonstration : Soit *GB* le rayon réfléchi en *B* du rayon *FB* émanant du soleil. Puisque *FB* est parallèle à *DEC* et que la droite *BE* est le demi-diamètre du cercle qui passe par *B*, alors l'angle délimité par l'arc *FB* et par la droite *BE* est égal à l'angle délimité par l'arc *CB* et par la droite *BE*[34]. Enlevons l'angle délimité par les deux droites *FB* et *BE* et l'angle délimité par les deux droites *EB* et *BG*, il reste l'angle délimité par l'arc *FB* et par la droite *BF* égal à <l'angle> délimité par l'arc *CB* et par la droite *BG*[35] ; le rayon dévié au point *B* passant par la droite *BHG* passe donc par le point *H* sur la droite *CE* ; le point de la droite *CE* par lequel passe le rayon dévié est donc le point *H*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 8 – Nous voulons déterminer le miroir concave sphérique au centre duquel se réfléchissent les rayons.

Nous disons que c'est le miroir dont le plus grand arc, je veux dire l'arc qui passe par son centre, est le tiers du plus grand cercle de la sphère qui l'achève./

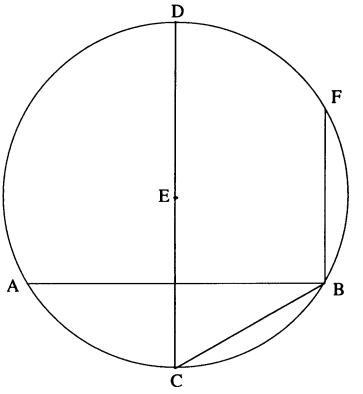


Fig. 8

18 *Exemple* : Supposons que le plus grand arc du miroir – le tiers du plus grand cercle de la sphère qui l'achève – est l'arc *AB* dont le centre est le

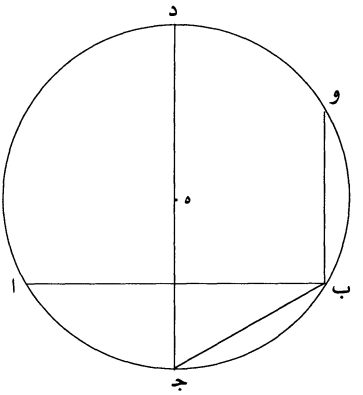
[34] Ces angles sont droits.

[35] Voir note complémentaire 7.2.

البرهان: أن الشعاع <ز ب> المنعكس من ب <من الشعاع> الخارج من الشمس <و>هو شعاع و ب. لأنه موازي د ه جـ، وخط ب ه نصف قطر <الدائرة الذي يمرّ بـ ب، فـ>الزاوية التي يحيط بها قوس و ب وخط ب ه مساوية الزاوية التي يحيط بها قوس جـ ب وخط ب ه. فنرفع الزاوية التي يحيط بها خطا و ب ب ه والزاويةَ التي يحيط بها خطا ه ب ب ز، فتبقى التي يحيط بها قوس و ب وخط ب و مساوية التي يحيط بها قوس جـ ب وخط ب ز، فالشعاع المنعرج عن علامة ب المارّ على خط ب ح ز <يمرّ بنقطة ح على خط جـ ه>؛ فالعلامة التي يمرّ عليها من خط جـ ه هي علامة ح؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– ح – نريد أن نَحُدّ المرآة المقعرة السطح تقعيراً كريًا التي تنعكس شعاعات إلى مركزها.

فنقول: إنها هي المرآة التي أعظم قوس فيها – أعني المارّة على مركزها – هي ثلث أعظم دائرة تقع على الكرة المتممة لها./



المثال: أن نفرض <أن أعظم قوس في> المرآة – ثلث الدائرة العظيمة ١٨
الواقعة على الكرة المتممة لها – قوس ا ب ومركزها علامة جـ، والدائرة

5 خطا: خطي / و ب ب ه: و ب ه / خطا: خطي / ه ب ب ز: ه ب ز – 7 المنعرج: وهي لا ترد إلا هذه المرة بمعنى المنعكس، والأصل يدلّ على ميل كما يقول ابن فارس في مقاييس اللغة. ويقال للطريق إذا مال: انعرج – 8 يمرّ: تمر.

point *C* ; le plus grand cercle qui l'achève est le cercle *ACBD* dont le centre est *E*, le diamètre mené du centre du miroir est la droite *CED* et le rayon mené du soleil à *B* est la droite *FB* ; on sépare *BC*.

Je dis que le rayon *FB* se réfléchit en *B* et tombe sur *C*, car il a la même direction que la droite *CED*[36].

Démonstration : <La droite> *FB* est parallèle à *CD* et l'arc *BC* est le sixième du cercle *ABC*, donc la droite *BC* est la corde du sixième du cercle et l'arc *DF* est un sixième du cercle ; il reste que l'arc *FB* est <aussi> un sixième du cercle, et que la droite *FB* est égale à la droite *BC*, donc le rayon *FB* se réfléchit en *B* et tombe au point *C*. Et de même tout point dont la distance au point *C* est égale à la distance de *B* à *C* réfléchit les rayons[37] sur *C* ; par conséquent *C* brûle. Ce qu'il fallait démontrer.

– 9 – Le miroir sphérique concave dont l'arc est le quart du plus grand cercle de la sphère qui l'achève, réfléchit le rayon à partir <d'un point> du plus grand cercle contenu dans ce miroir au point commun au diamètre du plus grand cercle contenu dans ce miroir et au diamètre du plus grand cercle de la sphère qui l'achève.

Exemple : Supposons que l'arc du miroir est l'arc *AB* dont le centre est
19 *C*, le plus grand cercle / de la sphère qui l'achève est le cercle *ABD*, le centre de ce cercle est *E*, son diamètre est *CED* et l'un des rayons menés du soleil au plus grand cercle contenu dans ce miroir est le rayon *FB*. Joignons *AB* et marquons par *G* le point où *AB* coupe *CD*.

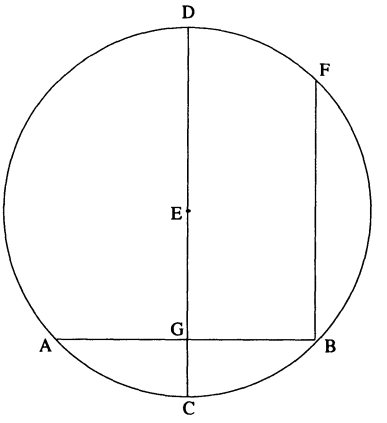


Fig. 9

[36] Litt. : car il passe suivant la droite *CED*.

[37] Il s'agit des rayons tombant sur le contour du miroir.

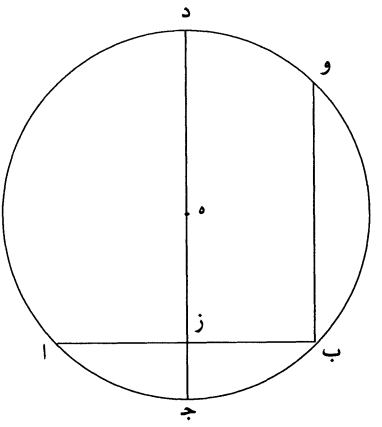
العظمى المتممة لها دائرة ا جـ ب د ومركزها هـ والقطر الخارج من مركز المرآة خط جـ هـ د، والشعاع الخارج من الشمس إلى ب خط و ب، وفُصِل ب جـ.

فأقول: إن شعاع و ب المنعكس من ب يقع على جـ لأنه مارّ على خط جـ هـ د.

برهان ذلك: أن و ب موازي جـ د، وقوس ب جـ سدس دائرة ا ب جـ، فخط ب جـ وتر سدس الدائرة، فقوس د و سدس الدائرة، فتبقى قوس و ب سدس الدائرة، فخط و ب مساوي خط ب جـ، فشعاع و ب ينعكس من ب على علامة جـ. وكذلك كل علامة بُعدها من علامة جـ كبُعد ب من جـ تعكس الشعاعات على جـ، فـ جـ إذن تحرق؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– ط – المرآة المقعرة السطح تقعيراً كرياً [هي] التي <قوسها> ربع أعظم دائرة تقع على الكرة المتممة لها، تعكس الشعاع من أوسع دائرة فيها على العلامة المشتركة لقطر أوسع دائرة فيها وقطر الدائرة العظمى المتممة كرتها.

مثال ذلك: أن نفرض <قوس> المرآة قوس ا ب ومركزها جـ وأعظم دائرة تقع على الكرة المتممة لها دائرة ا ب د، ومركز الدائرة هـ، وقطرها جـ هـ د، / ١٩ وأحد الشعاعات الخارجة من الشمس إلى أوسع دائرة فيها شعاع و ب. ونصل ا ب، ونرسم حيث قاطع جـ د علامة ز.



12 تعكس: فتعكس / أوسع: كتبها أعظم ثم حذف «عظم» وزاد «وسع» – 17 جـ د: جـ ب.

Je dis que le rayon *FB* se réfléchit de *B* sur le point *G*.

Démonstration : L'arc *AB* est le quart du cercle, donc l'arc *CB* est le huitième du cercle, la droite *FB* est parallèle à la droite *CD*, donc l'arc *DF* est un huitième du cercle et l'arc *FB* est le quart du cercle, donc la corde *FB* est égale à *AB* et le rayon <*FB*> se réfléchit en *B* suivant la droite *BGA*.

Par ce procédé, on montre que le rayon se réfléchit également de *A* en *G*, ainsi que de tout point du cercle[38] dont le centre est *G*, et passe sur *AB*[39]. Ce qu'il fallait démontrer.

– 10 – <a> Pour deux rayons menés du soleil aux deux extrémités de l'un des diamètres du miroir sphérique concave, les droites qui joignent les extrémités alternées – c'est-à-dire dont l'une est le point d'intersection du miroir et d'un rayon et l'autre est le point d'intersection de l'autre rayon avec le plus grand cercle de la sphère qui achève le miroir – passent par le centre du plus grand cercle de la sphère qui achève le miroir.

Exemple : Supposons que l'arc du miroir est l'arc *AB* dont le centre / est *C*, le plus grand cercle de la sphère qui achève le miroir est le cercle *ACBD* ; le diamètre, passant par le point *E*, de ce cercle, est *CED*, le centre du cercle est *E* et le diamètre du miroir est la droite *AB*. Les deux rayons menés du soleil en *A* et en *B* sont les rayons *FB* et *GA*.

Je dis que la droite entre les points *B* et *G* passe par le centre.

Démonstration : <Les droites> *FB* et *GA* sont parallèles et leur distance à la droite *CED* est la même, l'arc *GDF* est égal à l'arc *ACB* et l'arc *FB* est égal à l'arc *GA*, donc l'arc *GDFB* tout entier est égal à l'arc *BCAG* tout entier et la droite *BEG* est un diamètre du cercle *ACBD* ; elle passe donc par *E* qui est le centre du cercle. Ce qu'il fallait démontrer.

<b> Dès lors, nous montrons que l'arc intercepté par l'angle délimité par le rayon mené du soleil au miroir et le <rayon> réfléchi sur le miroir est le double de l'arc qui coupe le miroir en son centre et qui est une portion du plus grand cercle de la sphère qui achève le miroir.

[38] Litt. : de tout le cercle.

[39] Voir note complémentaire.

فأقول: إن شعاع و ب ينعكس من ‹ب› على علامة ز.

برهان ذلك: أن ‹قوس› آ ب ربع الدائرة، فقوس جـ ب ثمن الدائرة، وخط و ب موازي خط جـ د، فقوس د و ثمن الدائرة، فقوس و ب ربع الدائرة، فوتر و ب مساوي آ ب، فالشعاع ينعكس من ب على خط ب ز آ.

وبهذا التدبير يتبيّن أنه ينعكس من آ على ز أيضًا، ‹و›من جميع الدائرة التي مركزها ز، ويمرّ على آ ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يَ – كل شعاعين خارجين من الشمس إلى نهايتي قطر من أقطار المرآة الكرية التقعير، فإن الخطوط التي تصل بين الأطراف المتبادلة – أعني التي أحدها العلامة التي هي مشتركة للمرآة والشعاع، والآخر العلامة المشتركة للشعاع الآخر والدائرة العظمى من الكرة المتممة للمرآة – تمرّ على مركز الدائرة العظمى من الكرة المتممة للمرآة.

مثال ذلك: أن نفرض ‹قوس› المرآة قوس آ ب ومركزها / جـ، والدائرة العظمى من الكرة المتممة لها دائرة آ جـ ب د، وقطر هذه الدائرة الخارج من نقطة هَ جـ ه د، ومركز الدائرة هَ، وقطر المرآة خط آ ب. والشعاعان الخارجان من الشمس إلى آ وإلى ب شعاعا و ب ز آ.

فأقول: إن الخط بين علامتي ب ز يمرّ على المركز.

برهان ذلك: أن و ب وز آ متوازيان وبُعدهما من خط جـ ه د بُعد واحد، وقوس ز د و مساوية قوس آ جـ ب، وقوس و ب مساوية قوس ز آ، فقوس ز د و ب كلها مساوية قوس ب جـ آ ز كلها، فخط ب ه ز قطر لدائرة آ جـ ب د، فهو يمرّ على هَ التي هي مركز الدائرة؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وهنالك نبيّن أن القوس التي توتر الزاوية التي يحيط بها الشعاع الخارج من الشمس إلى المرآة والمنعكس من المرآة ضعفُ القوس التي تقطع المرآة على مركزها، وهي قطعة من أعظم دائرة تقع على الكرة المتممة للمرآة.

3 جـ د: جـ كـ – 6 زَ: جَ / ويمرّ على آ ب: المقصود هنا الشعاع المنعكس من آ أو من ب، أما الشعاعات المنعكسة على النقط الأخرى فتمرّ على زَ فقط – 7 إلى: التي / نهايتي: كتبها «نهاية» ثم صححها عليها – 8 الأطراف: أطراف – 13 آ جـ ب د: آ جـ ز د / الخارج: الخارجه – 17 بُعد واحد: بعدا واحدا – 19 مساوية: مساوي.

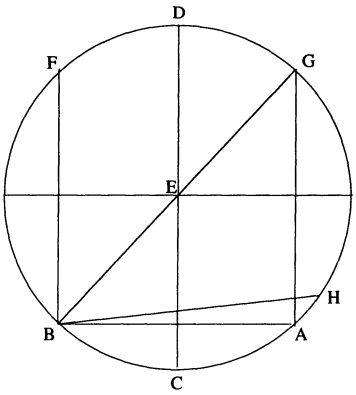


Fig. 10 a, b, c

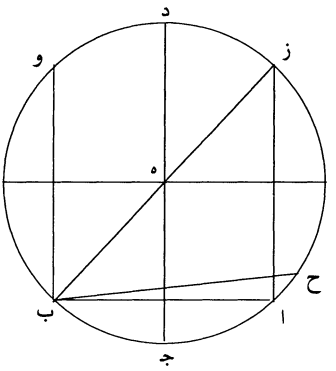
Démonstration : Supposons que le rayon réfléchi au point *B* est la droite *BH*. L'arc *ACB* est égal à l'arc *GDF* car ils sont entre des droites parallèles et ils sont sur un même cercle, l'arc *GH* est égal à l'arc *GDF*,
21 alors l'arc *HGF* / est le double de l'arc *GDF*, il est donc le double de l'arc *ACB* qui passe par le <point> *C* qui est le centre du miroir et qui appartient au cercle *ACBD* ; les angles *GBH* et *GBF* sont égaux.

On retranche les deux arcs *GH* et *GF*[40], il reste les arcs *HB* et *FB* égaux. L'angle délimité par la droite *HB* et l'arc *HB* est donc égal à l'angle délimité par la droite *FB* et l'arc *FB*, donc la droite *BH* est le rayon réfléchi au point *B* <d'un rayon> issu du soleil qui aboutit au point *B* et qui coupe le cercle suivant la droite *FB*. Ce qu'il fallait démontrer.

<c> Dès lors, nous montrons que si l'arc qui sépare le miroir en deux moitiés et en deux parties égales et qui passe par son centre, soit l'arc *ACB*, est dans un rapport connu avec le cercle, alors l'arc sous-tendu par le rayon mené du soleil à l'une des extrémités du diamètre du miroir est dans un rapport connu avec le cercle.

Démonstration : Supposons que l'arc *ACB* est connu. Comme l'arc *FB* est l'achèvement du demi-cercle *ACGF*, alors l'arc *FB* est connu ; c'est

[40] Respectivement des demi-cercles *GHB* et *GDB*.



برهان ذلك: أن نفرض الشعاع المنعكس من علامة ب خط ب ح. وقوس ا جـ ب مساوية قوس ز د و لأنهما يقعان على خطوط متوازية وهما من دائرة واحدة، وقوس ز ح مثل قوس ز د و، فقوس ح ز و / ضعف قوس ز د و، فهي ضعف قوس ا جـ ب المارة على جـ التي هي مركز المرآة وهي من ٢١
دائرة ا جـ ب د، فزاويتا ز ب ح ز ب و متساويتان.

ويُلقى قوسا ز ح ز و، فيبقى قوسا ح ب و ب متساويتين. فالزاوية التي يحيط بها خط ح ب وقوس ح ب مساوية للزاوية التي يحيط بها خط و ب وقوس و ب، فخط ب ح هو الشعاع المنعكس من علامة ب الذي مخرجه من الشمس ينتهي إلى علامة ب ويقطع دائرة لخط و ب؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

وهنالك نبيّن أن القوس الفاصلة للمرآة بنصفين وبقسمين متساويين المارة على مركزها كقوس ا جـ ب إذا كانت معلومة النسبة إلى دائرتها، كانت القوس التي يوترها الشعاع الخارج من الشمس إلى أحد نهايتي قطر المرآة معلومة النسبة إلى دائرتها.

برهان ذلك: أن نفرض قوس ا جـ ب معلومة. فلأن قوس و ب تتمة نصف دائرة ا جـ ز و، تكون قوس و ب معلومة، ولذلك يكون وتر ب و معلومًا،

2 مساوية: مساوي – 3 ز د و: ز د / فقوس: وقوس – 5 ز ب و: د ب و – 6 ويلقى: والمقصود ويلقى قوسا ز ح ز و من نصفي الدائرة ز ح ب و ز د ب على التوالي / فيبقى قوسا: فيبقى قوس / متساويتين: متساويتان – 8 ب ح: ب حـ – 9 لخط: يعني «على خط» – 12 كقوس: كقوسي – 13 أحد نهايتي: احديها هي.

pourquoi la corde *BF* est connue, alors l'excédent de l'arc *FB* sur l'arc *AB* est connu. Mais l'arc *HACB* est égal à l'arc *FB*, l'arc *HA* est par conséquent connu. Ce qu'il fallait démontrer.

<d> Dès lors, nous montrons comment déterminer le point suivant lequel le rayon réfléchi au point *B* coupe le diamètre *CED*.

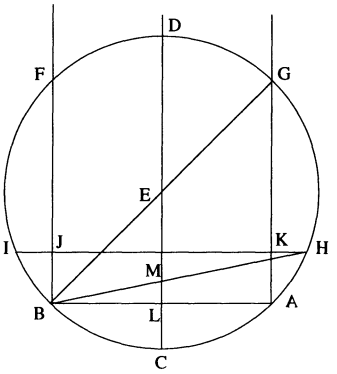


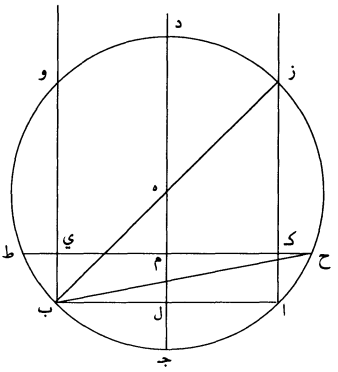
Fig. 10d

22 *Démonstration* : Reprenons la figure selon sa forme / et menons du <point> *H* une droite au <point> *I* du cercle *ACBD* parallèlement à la droite *AB* ; marquons là où elle coupe la droite *FB* par le point *J*, là où elle coupe la droite *AG* par le point *K*, là où la droite *CD* coupe la droite *AB* par le point *L* et là où la droite *BH* coupe la droite *CD* par le point *M*. L'arc *BI* est connu car l'arc *AH* est connu[41], ils sont égaux car les deux droites *AB* et *HI* sont parallèles. L'arc *HABI* est donc connu et sa corde qui est la droite *HI* est connue, donc son excédent sur la corde *AB* est connu, la moitié de l'excédent qui est *HK* est connue et la droite *KJ* est connue car elle est égale à la droite *AB*, donc la droite *HJ* tout entière est connue, la droite *HB* est connue et elle peut la droite *HJ* et la droite *BJ*[42], donc la droite *BJ* est connue ; les deux angles *JHB* et *MBL* sont égaux car ils sont alternes-internes par rapport à la droite *HB* qui rencontre les deux droites *AB* et *HI* qui sont parallèles, et aussi puisque les arcs interceptés par les angles sont égaux, je veux dire les arcs *AH* et *BI*, et les deux

[41] Proposition précédente <c>.
[42] $HB^2 = HJ^2 + BJ^2$.

فزيادة قوس و ب على قوس ا ب معلومة؛ وقوس ح ا جـ ب مساوية قوس و ب، فقوس ح ا إذن معلومة؛ وذلك ما أردنا أن نبين.

وهنالك نبيّن كيف نَحُدّ العلامة التي يقاطع الشعاع المنعكس من علامة ب عليها قطر جـ ه د.



برهان ذلك: أن نعيد الشكل كهيئته / ونخرج من ح خطًا إلى ط من ٢٢ دائرة ا جـ ب د موازيًا خط ا ب، ونتعلم - حيث قاطع خط و ب - علامة ي، وحيث قاطع خط ا ز علامة ك، وحيث قاطع خط جـ د خط ا ب علامة ل، وحيث قاطع خط ب ح خط جـ د علامة م. فقوس ب ط معلومة، لأن قوس ا ح معلومة، وهما متساويان لأن خطي ا ب ح ط متوازيان. فقوس ح ا ب ط معلومة، فوترها الذي هو خط ح ط معلوم، ففضله على وتر ا ب معلوم، فنصفه الذي هو ح ك معلوم، وخط ك ي معلوم لأنه مثل خط ا ب، فكل خط ح ي معلوم، وخط ح ب معلوم وهو يقوى على خط ح ي وخط ب ي، فخط ب ي معلوم؛ وزاويتا ي ح ب م ب ل متساويتان لأنهما متبادلتا خط ح ب الواقع على خطي ا ب ح ط المتوازيين، وأيضًا لأن القسي الموترة لها متساوية، أعني قوسي ا ح ب ط وزاويتي ح ي ب م ل ب

1 على قوس: أضاف قوس في الهامش مع العلامة المعروفة لبيان موضعها - 9 خطي: خطا - 14 متبادلتا: متبادلتي / المتوازيين: المتوازيان - 15 قوسي: قوس / ا ح ب ط: ا ح ب ط / وزاويتي: وزاويتا / ح ي ب: ح ي د.

angles *HJB* et *MLB* sont égaux car ils sont droits ; il reste que l'angle *JBH*
23 est égal à l'angle *LMB*, donc les triangles *HJB* et *BLM* / sont semblables. Le rapport de la droite connue *BL* à la droite inconnue *LM* est donc égal au rapport de *HJ* qui est connue à *JB* qui est connue ; par conséquent *LM* est connue. Par conséquent, le rapport du diamètre du miroir, plus la moitié de l'excédent de la corde de l'arc du rayon réfléchi qui coupe le miroir, augmenté de l'excédent de cet arc sur l'arc de tout le miroir sur le diamètre du miroir, à la droite qui complète la puissance du rayon réfléchi au point *B* qui coupe le miroir, est égal au rapport de la moitié du diamètre du miroir à la perpendiculaire menée du point qui partage le diamètre du miroir en deux moitiés au point d'intersection de cette perpendiculaire et du rayon réfléchi aux extrémités des diamètres du miroir. Ce qu'il fallait démontrer[43].

– 11 – Nous voulons construire un miroir qui réfléchit le rayon du côté qui fait face au soleil, c'est-à-dire le côté tel que le miroir soit entre celui-ci et le soleil.

<a> Nous disons que c'est un miroir sphérique concave dont l'arc qui le sépare en son centre en deux moitiés semblables est plus grand que le tiers et plus petit que la moitié du plus grand cercle de la sphère[44] qui achève le miroir.

Soit *ABD* le cercle, *C* le centre du miroir, *E* le centre du cercle, la droite *CED* le diamètre du cercle mené de *C*, le point *I* là où *AB* coupe *CD* ; supposons que l'arc *ACB* est plus grand que le tiers du cercle *ABD* et plus petit que sa moitié.

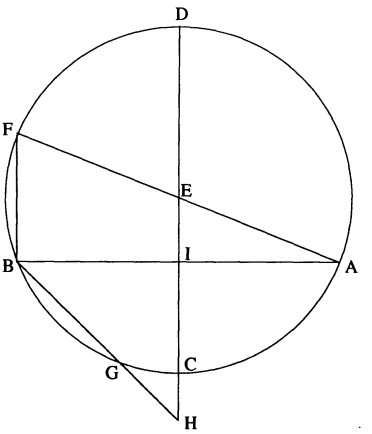


Fig. 11a

[43] Voir chapitre III, proposition 10d.

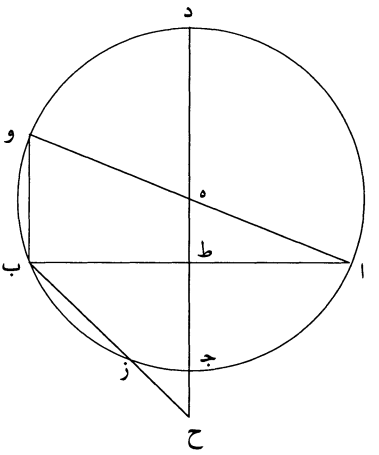
[44] Litt. : de la sphère qui achève la sphère du miroir.

متساويتان لأنهما قائمتان، فتبقى زاوية ي ب ح مثل زاوية ل م ب، فمثلثا ح ي ب ب ل م / متشابهان. فنسبة خط ب ل المعلوم إلى خط ل م المجهول ٢٣ كنسبة ح ي المعلوم إلى ي ب المعلوم، فـ ل م إذن معلوم. فنسبة، إذن، قطر المرآة ونصف زيادة الخط الموتر لقوس الشعاع المنعكس القاطع للمرآة وزيادة هذه القوس على قوس المرآة جميعًا، إلى الخط المتمم لقوة الشعاع المنعكس من علامة ب القاطع المرآة، هي كنسبة نصف قطر المرآة إلى العمود الخارج من العلامة القاسمة لقطر المرآة بنصفين إلى العلامة المشتركة لهذا العمود وللشعاع المنعكس من نهايات أقطار المرآة،؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

– يا – نريد أن نعمل مرآة تعكس الشعاع إلى الجهة المقابلة للشمس، أعني الجهة التي المرآة فيما بينها وبين الشمس.

فنقول: إنها المرآة المقعرة السطح تقعيراً كريًا التي قوسها الفاصلة لها على مركزها بنصفين متشابهين، أكثر من ثلث وأقلّ من نصف الدائرة العظمى الواقعة على الكرة المتممة لكرتها.

<فلتكن> دائرة ا ب د ومركز المرآة جـ ومركز الدائرة هـ وقطر الدائرة الخارج من جـ خط جـ ه د وحيث قاطع ا ب جـ د علامة ط. ونفرض قوس ا جـ ب أكثر من ثلث دائرة ا ب د وأقلّ من نصفها.



6 ب: أضافها الناسخ فوق السطر مع إشارة الصواب – 11 التي: الى.

24 Je dis que le rayon se réfléchit au point *B* vers le point *H* de / la droite menée de *C*, à l'extérieur du cercle, si on prolonge la droite *DEC*.

Démonstration : Le rayon mené du soleil au point *B* est parallèle à la droite *CD* ; le rayon réfléchi en *B* coupe donc le cercle par une droite égale à la droite *FB*. Supposons que cette droite est la droite *BG* et que l'arc *BC* est plus grand qu'un sixième du cercle car l'arc *ACB* est plus grand qu'un tiers du cercle. Or *DF* est égal à *BC*, donc il reste que *FB* est inférieur à un sixième du cercle et que *BG*, qui est égal à *FB*, est inférieur à un sixième du cercle ; donc la droite *BG* ne tombe ni sur *DC* ni sur *CH*[45]. Si on prolonge <la droite *BG*,> elle rencontre la droite *DH* car les deux angles *BIC* et *IBG* sont plus petits que deux angles droits, car *IBG* est plus petit qu'un <angle> droit et *BIC* est droit ; donc les deux droites se coupent en un point quelconque, soit *H*. Donc le miroir qui[46] est plus grand qu'un tiers et plus petit que la moitié de son cercle, réfléchit le rayon du côté qui fait face au soleil, c'est-à-dire le côté tel que le miroir soit entre celui-ci et le soleil. Ce qu'il fallait démontrer.

<b> Nous voulons déterminer la distance du point *H* au point *I*, qui est la perpendiculaire menée du point qui partage le diamètre du miroir en deux moitiés et qui aboutit à l'extrémité du rayon réfléchi au point *B*.

Nous reprenons la figure et menons également le rayon émanant du soleil au point *A*, qui est la droite *AJ*. Joignons *BJ* qui passe par *E*, le centre, comme précédemment ; menons de *G* une perpendiculaire à la droite *BI*, soit la perpendiculaire *GK*.

Je dis que *IH* est connu.

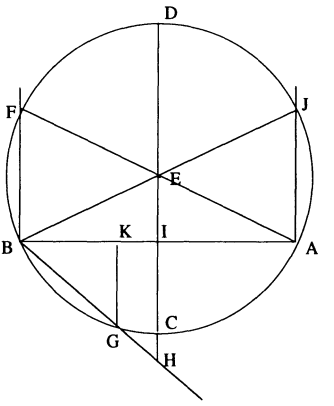


Fig. 11b

[45] Dans le manuscrit, il n'y a pas de négation.
[46] C'est-à-dire dont l'arc est plus grand.

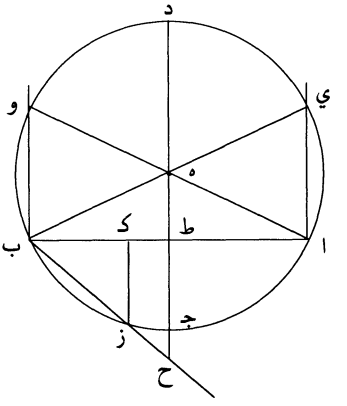
فأقول: إن الشعاع ينعكس من علامة بَ إلى علامة حَ من / الخط الخارج ٢٤
من جَ عن الدائرة المتصل بخط د ه جَ على استقامة.

برهان ذلك: أن الشعاع الخارج من الشمس إلى علامة بَ موازي خط جَ د، فالشعاع المنعكس من بَ يقطع الدائرة بخط مساوي خط وَ بَ؛ فلنفرضه خط بَ زَ، وقوس بَ جَ أكثر من سدس الدائرة لأن قوس ا جَ بَ أكثر من ثلث الدائرة. ودَ وَ مثل بَ جَ، فيبقى وَ بَ أقلّ من سدس الدائرة، وبَ زَ المساوي وَ بَ أقل من سدس الدائرة، فخط بَ زَ ‹لا› يقع على د جَ وجَ حَ، فإذا خرج على استقامة لاقى خط د حَ لأن زاويتي ب ط جَ ط ب ز أصغر من قائمتين، لأن ط ب زَ أصغر من قائمة وب ط جَ قائمة، فهما يلتقيان على علامة ما، فلتكن حَ. فالمرآة التي هي أكثر من ثلث وأقلّ من نصف دائرتها تعكس الشعاع إلى الجهة المقابلة للشمس، أعني الجهة التي المرآة فيما بينها وبين الشمس؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

نريد أن نحدّ بُعد علامة حَ من علامة طَ، الذي هو العمود الواقع على العلامة القاسمة قطر المرآة بنصفين والمنتهي إلى نهاية الشعاع المنعكس من علامة بَ.

فنعيد الشكل، ونخرج أيضًا الشعاع الخارج من الشمس إلى علامة آ وهو خط ا يَ، ونصل بَ يَ، فيمرّ على هَ المركز كما قدمنا، ونخرج من زَ عمودًا على خط بَ طَ وهو عمود ‹زَ كَ›.

فأقول: إن طَ حَ يكون معلومًا.



4 جَ د: دَ / يقطع: يقتطع - 6 ودَ وَ: فزَ وَ - 8 ب ط جَ: ب زَ طَ.

Démonstration : L'arc *ACB* est connu, donc l'arc *JDF* qui lui est égal est connu, donc il reste les deux arcs *AJ* et *FB* connus, donc l'arc *FB* est
25 connu / et l'arc *BG* qui lui est égal est connu, donc la corde *BG* est connue car son arc est connu, sa moitié[47] est connue et la droite *BI* est connue. L'arc *CGB* est connu et l'arc *BG* est connu, il reste donc l'arc *CG* connu, donc la moitié de la corde associée au double de l'arc *CG* est connue ; mais la moitié de la corde de son double est la droite *IK,* donc la droite *IK* est connue. Il reste la droite *BK* connue et *BG* peut[48] *BK* et *KG*, donc *KG* est connue ; mais la droite *KG* est parallèle à la droite *IH*, donc les deux triangles *BIH* et *BKG* sont semblables, le rapport de *BI* à *IH* est donc égal au rapport de *BK* à *KG* ; mais le rapport de *BK* à *KG* est connu, donc le rapport de *BI* à *IH* est connu ; par conséquent, le rapport de la distance du point sur lequel tombe le rayon réfléchi au point *B* – et aux points dont la distance au centre du miroir est égale à celle du <point> *B* – au point qui sépare le diamètre du miroir en deux moitiés, à la moitié du diamètre du miroir, est égal au rapport de la perpendiculaire menée à ce diamètre, du point où le rayon réfléchi au point *B* – et aux points dont la distance au centre du miroir est égale à celle du <point> *B* – coupe l'arc qui sépare le miroir en deux moitiés semblables et qui est sous-tendu par le diamètre du miroir qui a une extrémité en commun avec le rayon réfléchi, à la droite qui achève la puissance du rayon, c'est-à-dire celle
26 que le rayon peut / avec la perpendiculaire menée de ce rayon[49] au diamètre du miroir. Ce qu'il fallait démontrer.

Si nous voulons construire ce miroir, nous perçons dans le miroir une ouverture telle que les rayons la traversent en son milieu et telle que l'ouverture soit entourée par un cercle de centre *C*[50], c'est-à-dire le centre du miroir, et qui avance légèrement plus que *CG,* pour que les rayons la traversent, comme nous l'avons mentionné.

Ayant introduit dans nos sujets ce qui est suffisant dans la connaissance de cet art, exposons ce que nous avons promis d'exposer par la voie la plus économe pour connaître cela et pour l'expliquer avec l'aide du Puissant, à propos de ce qu'Anthémius a dit concernant <le miroir> de vingt-quatre rayons.

– 12 – Nous voulons construire un miroir sur lequel vingt-quatre rayons se réfléchissent en un seul point.

---

[47] On a 1/2 *BG* = 1/2 *BF* = *EI*.

[48] $BG^2 = BK^2 + KG^2$.

[49] Dans la phrase arabe il s'agit d'une forme passive que l'on ne peut pas rendre littéralement en français. Notons que "menée de ce rayon" veut dire menée du point *G*.

[50] Le centre du cercle sera sur l'axe du miroir qui passe par le point *C* centre du miroir.

برهان ذلك: أن قوس آ جـ ب معلومة، فقوس ي د و المساوية لها معلومة، فتبقى قوسا آ ي و ب معلومتين، فقوس و ب معلومة / وقوس ب ز المساوية ٢٥ لها معلومة، فوتر ب ز معلوم لأن قوسه معلومة، فنصفه معلوم، فخط ب ط معلوم. وقوس جـ ز ب معلومة وقوس ب ز معلومة، فتبقى قوس جـ ز معلومة، فنصف وتر ضعفها معلوم؛ ونصف وتر ضعفها هو خط ط كـ، فخط ط كـ معلوم. فيبقى خط ب كـ معلوماً، وب ز يقوى على ب كـ وكـ ز، فـ كـ ز معلوم، وخط كـ ز موازي خط ط ح، فمثلثا ب ط ح ب كـ ز متشابهان، فنسبة ب ط إلى ط ح كنسبة ب كـ إلى كـ ز؛ ونسبة ب كـ إلى كـ ز معلومة، فنسبة ب ط إلى ط ح معلومة، فإذن نسبة بعد العلامة التي يقع عليها الشعاع المنعكس من علامة ب - وما كان بعده من مركز المرآة كبعد ب - من العلامة التي تفصل قطر المرآة بنصفين، إلى نصف قطر المرآة، كنسبة العمود الخارج من العلامة التي قاطع عليها الشعاع المنعكس من ب - وما كان بعده من مركز المرآة كبعد ب - القوس القاطعة المرآة بنصفين متشابهين ويوترها قطرها، المشترك نهاية له وللشعاع المنعكس، إلى هذا القطر، إلى الخط المتمم لقوة الشعاع، أعني الذي يقوى الشعاع عليه / وعلى العمود ٢٦ الخارج من الشعاع <إلى قطر المرآة>؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

فإذا أردنا عمل هذه المرآة، خرقنا فيها خرقًا تنفذ الشعاعات منه في وسطها وتحيط بالخرق دائرة مركزها جـ، أعني مركز المرآة، وينفذ أكثر من جـ ز بشيء يسير لتنفذ الشعاعات منه كما ذكرنا.

فإذ قد قدمنا من موضوعاتنا ما فيه كفاية في علم هذه الصناعة، فلنذكر ما وعدنا ذكره مما قال أنثاميوس في ذات الأربعة والعشرين شعاعًا على أقصد المسالك إلى علم ذلك، وإيضاحه بتوفيق ذي القدرة.

- يب - نريد أن نعمل مرآة ينعكس منها أربعة وعشرون شعاعًا إلى علامة واحدة.

1 معلومة: معلوم / المساوية لها معلومة: المساوي له معلوم - 2 معلومتين: معلومان / معلومة: معلوم - 4 جـ ز ب: جـ ب ز / معلومة (الأولى والثانية): معلوم - 6 ب كـ: ب ط / معلومًا: معلوم - 8 ب كـ (الثانية): ب ط - 9 ط ح: ح - 17 الشعاعات: للشعاعات - 18وتحيط: تحيط - 21 أنثاميوس: اثناميوس / والعشرين: وعشرين.

Soit l'exemple : nous supposons que la surface d'un miroir est hexagonale, *ABCDEF*, à côtés égaux et angles égaux, et que le miroir est plan, c'est-à-dire qu'il nous est possible de mener en tout endroit du miroir une droite. Élevons sur le côté *AB* un miroir hexagonal qui lui est semblable, un peu plus petit et qui lui soit joint au moyen de charnières pour ouvrir à volonté l'angle engendré par les deux miroirs, soit le miroir *ABJIHG* ; sur la droite *BC* un miroir semblable qui est le miroir *BJKLMC* ; sur la droite *CD* un miroir semblable qui est le miroir *CMNSOD* ; sur la droite *DE* un miroir semblable qui est le miroir *DOPUQE* ; sur la droite *EF* un miroir semblable qui est le miroir *EQXTYF* et sur la droite *FA* un miroir semblable qui est le miroir *FYVZGA*. Nous élevons sur chacune des droites *GH, HI, IJ, JK, KL, LM,*
27 *MN, NS, SO, OP, PU, UQ, QX, XT, / TY, YV, VZ* et *ZG* des miroirs semblables et plus petits, qui leur[51] sont joints par des charnières également. Pour tout miroir sur chacun des côtés du miroir *ABCDEF*, on a un rayon et lui-même a un rayon[52] ; ils sont sept miroirs ; et pour chaque miroir sur l'un des côtés[53] des six miroirs ardents <est élevé> un miroir semblable au miroir *ABCDEF*, on a donc dix-huit miroirs dont chacun a un rayon. /

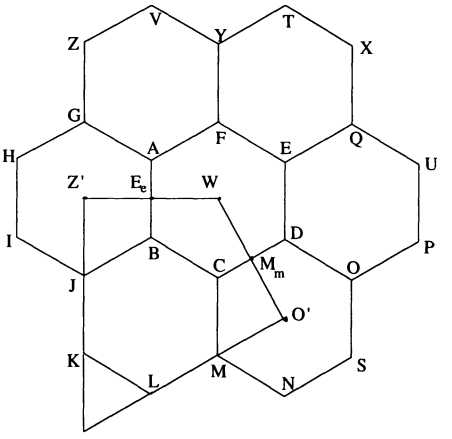
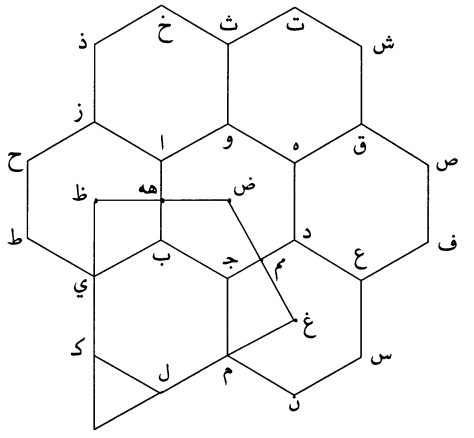


Fig. 12a

[51] Qui sont joints aux six miroirs précédents.
[52] Voir note complémentaire 12.1.
[53] L'opération est répétée trois fois pour chaque miroir.

فليكن المثال لذلك أن نفرض سطح المرآة مسدس ا ب جـ د ه و المتساوي الأضلاع، المتساوي الزوايا، ولتكن المرآة مستوية السطح، أي يمكن أن نخرج في أي موضع منها خطًا مستقيمًا. ونقيم على ضلع ا ب مرآة مسدسة شبيهة بها وأصغر منها شيئًا، متصلة بها ببرماذجات لنفرج الزاوية الحادثة عن المرآتين كيف شئنا، وهي مرآة ا ب ي ط ح ز، وعلى خط ب جـ مثلها وهي مرآة ب ي ك ل م جـ، وعلى خط جـ د مثلها وهي مرآة ‹جـ م ن س ع د؛ وعلى خط د ه مثلها وهي مرآة› د ع ف ص ق ه؛ وعلى خط ه و مثلها وهي مرآة ه ق ش ت ث و، وعلى خط و ا مثلها وهي مرآة و ث خ ذ ز ا، ونقيم على كل واحد من خطوط ز ح ح ط ط ي ي ك ك ل ل م م ن ن س س ع ع ف ف ص ص ق ق ش ش ت / ت ث ث خ خ ذ ٢٧ ذ ز مرايا شبيهة بها وأصغر منها ‹ومتصلة بها› ببرماذجات أيضًا. فلكل مرآة على ضلع من أضلاع مرآة ا ب جـ د ه و شعاع، ولها هي شعاع؛ وهي سبع مرايا ولكل مرآة على ضلع من أضلاع المرايا الست المحرقة ‹مرآة شبيهة› بمرآة ا ب جـ د ه و؛ ‹فيكون› ثمانية عشر مرآة ‹لكل منها› شعاع. /



4 ببرماذجات: ببرمادجات / لنفرج: لتفرج – 5 ا ب ي ط ح ز: ا ب ي ط ح جـ ز / ب جـ: ب د – 7 د ع ف ص ق ه: د ع ف ص و ه – 8 ه ق ش ت ث و: ه ق س ب ب و – 9 و ث خ ذ ز ا: و ب حـ د ز ا / ز ح: د ح – 11 ذ ز: مطموسة / مرايا شبيهة بها: مطموسة – 12 من أضلاع مرآة: مطموسة / شعاع (الأولى): وشعاع / وهي: وهو – 14 ثمانية: مطموسة.

28 Les rayons sont donc vingt-cinq rayons. Si nous égalisons[54] les angles des dix-huit miroirs, leurs rayons et les rayons des six miroirs se rencontrent à une même distance de chacun des six miroirs. Si nous inclinons ensuite l'un des six miroirs pour que son rayon et les rayons des trois miroirs qui sont sur ses côtés se rencontrent et rencontrent le rayon du miroir *ABCDEF*, et si nous inclinons ensuite les cinq autres miroirs restants pour que les angles des six miroirs joints au miroir du milieu deviennent égaux, les vingt-cinq rayons se rencontreront en un seul point.

Démonstration : Menons du centre du miroir *ABCDEF* qui est le point *W* la perpendiculaire vers le point *R*[55] et menons du centre du miroir *ABJIHG*, qui est le point *Z'*, une droite au centre *W* et du centre du miroir *CMNSOD*, qui est le point *O'*, une droite au centre *W*.

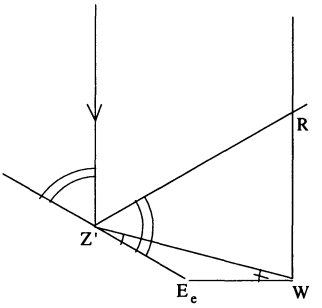


Fig. 12b*

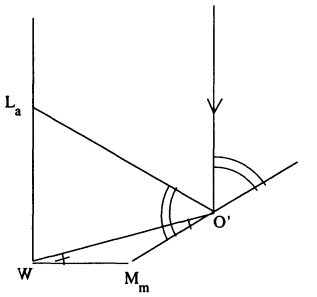


Fig. 12c

L'angle qui est sur la droite *AB* est égal à l'angle sur la droite *CD* et les six miroirs sont égaux, donc la perpendiculaire menée de *Z'* au <point> E_e de la droite *AB* qui coupe <la droite> *AB* en deux moitiés est égale à la perpendiculaire menée de *O'* à M_m de la droite *CD* qui coupe la droite *CD* en deux moitiés, car les apothèmes de figures semblables et égales sont égaux. Or les apothèmes menés de *W* aux côtés *AB*, *CD*, *EF*, sont

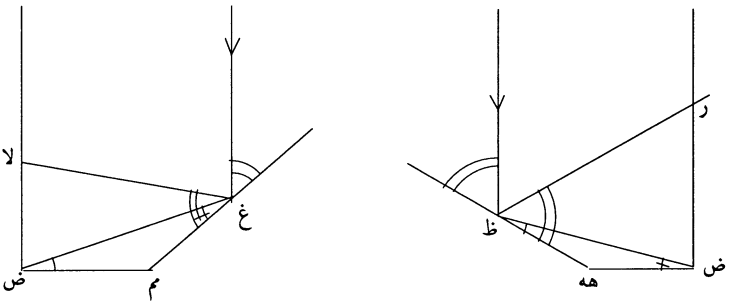
[54] Il s'agit des angles dièdres de chacun des dix-huit miroirs avec le miroir qui lui est joint.

[55] Cette perpendiculaire est dirigée vers le soleil.

* Les figures 12b et 12c ne sont pas dans le manuscrit.

فالشعاعات خمسة وعشرون شعاعًا. فإذا نحن صيّرنا زوايا المرايا الثماني ٢٨
عشرة متساوية، اجتمعت هي وشعاعات المرايا الست على بُعد واحد من كل
واحدة من المرايا الست. وإذا نحن أملنا واحدة من المرايا الست بعد ذلك
حتى يلتقي مجمع شعاعها وشعاعات المرايا الثلاث التي على أضلاعها وشعاع
مرآة ا ب جـ د ه و، ثم أملنا جميع الخمس الباقية حتى تصير زوايا الست
التي تلي الوسطى متساوية، التقت الشعاعات الخمسة والعشرون على نقطة
واحدة.

برهان ذلك: أن نخرج من مركز مرآة ا ب جـ د ه و، وهو عند نقطة ض
عموداً إلى نقطة ر، ونخرج من مركز مرآة ا ب ي ط ح ز - وهو عند علامة
ظ - خطًا إلى مركز ض، ومن مركز مرآة جـ م ن س ع د - وهو عند علامة
غ - خطًا إلى مركز ض.



والزاوية التي على خط ا ب مساوية الزاوية التي على خط جـ د، والمرايا
الست متساوية، فالعمود الخارج من ظ إلى هه من خط ا ب وقاطع ا ب
بنصفين مساوي العمود الخارج من غ إلى م من خط جـ د وقاطع خط جـ د
بنصفين، لأن أعمدة الأشكال المتشابهة المتساوية متساوية. والأعمدة
‹الخارجة من ض على أضلاع› ا ب جـ د ه و متساوية، فالخط الخارج من ض

2-1 الثماني عشر: الثمانية عشر - 2 هي: أي الشعاعات - 6 والعشرون: وعشرون - 8 ض: ص - 9 ر: ز - 10 ظ: ط / ض: ص / جـ م ن س ع د: جـ م ز س ع د - 11 غ: ع / ض: ص - هذان الشكلان لإيضاح برهان الكندي ولا وجود لهما في المخطوطة - 12 جـ د: جـ ه - 13 ظ: ط / هه: كتب الناسخ فوقها «كذا» - 14 م: ممر، ثم كتب فوقها كلمة «كذا» / جـ د: جـ ه - 15 والأعمدة: وأعمدة - 16 ا ب جـ د ه و: ا ب جـ د ه و، والمقصود «والأعمدة الخارجة من نقطة ض إلى هذه الخطوط» / ض: ص.

égaux, donc la droite menée de W et qui partage AB au point E_e en deux moitiés est égale à la droite menée de W qui partage CD au point M_m en deux moitiés. La droite $Z'W$ est par conséquent égale à la droite $O'W$ car
29 le triangle $Z'WE_e$ est égal au triangle $O'WM_m$ et chaque angle / de l'un est égal à son homologue de l'autre. L'angle $Z'WE_e$ est donc égal à <l'angle> $O'WM_m$. Si on les retranche des deux angles droits RWE_e et L_aWM_m, il reste les angles $Z'WR$ et $O'WL_a$ égaux. Par le même procédé nous savons que, si nous enlevons les deux angles $WZ'E_e$ et $WO'M_m$ qui sont égaux[56], les angles qui restent $WZ'R$ et $L_aO'W$ sont égaux, alors il reste que les deux angles $Z'RW$ et $O'L_aW$ sont égaux. On a donc montré que les angles des deux triangles $RZ'W$ et $L_aO'W$ sont égaux chacun à son homologue et qu'un côté de l'un est égal à un côté de l'autre[57] ; par conséquent, les deux autres côtés de l'un sont égaux aux côtés homologues de l'autre[58], donc $Z'R$ est égal à $O'L_a$ <et WR est égal à WL_a>. Les rayons menés des centres des miroirs O', W, Z' se rencontrent donc en un point R.

Et par ce procédé, on montre que tous les rayons menés <des centres> de tous les miroirs[59] se rencontrent au même point R. Ce qu'il fallait démontrer.

– 13 – Nous introduirons, par la suite, la preuve que si trois perpendiculaires à une droite sont à des distances égales l'une de l'autre, si on prolonge la perpendiculaire du milieu dans l'autre direction au delà de la droite, et si on joint ensuite son extrémité extérieure à la droite aux deux extrémités des deux perpendiculaires qui l'entourent et qui touchent la droite, l'angle délimité par la première perpendiculaire et la droite qui joint l'extrémité de la première perpendiculaire à l'extrémité de la perpendiculaire du milieu extérieure à la droite est donc égal à l'angle délimité par la troisième perpendiculaire et la droite qui joint l'extrémité de la troisième perpendiculaire à l'extrémité de la perpendiculaire du milieu extérieure à la droite.

---

[56] Voir note complémentaire 12.2.

[57] Litt. : deux côtés de l'un sont égaux à deux côtés de l'autre; or on sait seulement que $Z'W = O'W$.

[58] Litt. : le troisième côté de l'un est égal au troisième côté de l'autre.

[59] La démonstration est valable pour les six miroirs qui entourent le miroir central (voir chapitre III, proposition 12).

وقاسم آ ب على نقطة هَ بنصفين مساوي الخط الخارج من ضَ وقاسم جـ د على نقطة مَ بنصفين، فخط ظ ض إذن مساوي خط غ ض لأن مثلث ظ ض هَ مساوي مثلث غ ض مَ، وكل زاوية / من أحدهما مساوية ٢٩
نظيرتها من الآخر. فزاوية ظ ض هَ مساوية غ ض مَ. فإذا ألقيتا من زاويتي
5 ر ض هَ لا ض مَ القائمتين بقيت زاويتا ظ ض ر غ ض لا متساويتين. وبهذا التدبير نعلم - إذا رفعنا زاويتي ض ظ هَ ض غ مَ المتساويتين - أن زاويتي ض ظ ر لا غ ض الباقيتين متساويتان، فتبقى زاويتا ظ ر ض غ لا ض متساويتين. فقد تبيّن أن زوايا مثلثي ر ظ ض لا غ ض مساوية كل واحدة نظيرتها، وساوى ضلعان من أحدهما ضلعين من الآخر، فإذن الضلع الثالث
10 من أحدهما مساوي الضلع الثالث من الآخر، ف ظ ر مساوي غ لا. فالشعاعات الخارجة من مراكز مرايا غَ ضَ ظَ، تلتقي على نقطة رَ.

وبهذا التدبير تبيّن أن كل الشعاعات التي تخرج من جميع المرايا تلتقي على نقطة رَ؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- يجـ - ومن بعد ذلك نقدم بيان أن كل ثلاثة أعمدة على خط، متساوي
15 أبعاد بعضها من بعض، يخرج الأوسط منها عن الخط على استقامة في الجهة الأخرى، ثم يوصل طرفه الخارج عن الخط بطرفي العمودين المكتنفين له المماسين للخط، فإن الزاوية التي يحيط بها العمود الأول والخط الذي يصل طرف العمود الأول بطرف العمود الأوسط الخارج عن الخط، مثل الزاوية التي يحيط بها العمود الثالث، والخط الذي يصل طرف العمود الثالث بطرف
20 العمود الأوسط الخارج عن الخط.

1 هه: كتب الناسخ فوقها كلمة «كذا» / ضَ: صَ / جـ د: جـ ز - 2 م: كتب فوقها كلمة «كذا»/ ظ ض: ط ط م / غ ض: ع م / لأن مثلث: ومثلث - 3 ظ ض هَ: ط م هَ / غ ض مَ: ع ض مَ - 4 ألقيا: التقتا - 5 ر ض مَ: ر ص مَ / بقيت: بقيتا / ظ ض ر: ط ص و / غ ض ل: ع ص ر / متساويتين: متساويتان - 6 زاويتي: زاويتا / ض ظ هَ: ص ط هَ / ض غ مَ: ص ع مَ / المتساويتين: المتساويتان - 7 ض ظ ر: ص ط د / لا غ ض: ع ص ن / متساويتان: متساويتين / ظ ر ض: ط ز ص / غ لا ض: ع د ص - 8 متساويتين: متساويتان / ر ظ ض: ب ط ص / لا غ ض: ز ع ص - 9 فإذن: فإذا و - 10 ظ ر: ط ز / غ لا: ع ز - 11 غَ ضَ ظَ: عَ صَ طَ / رَ: زَ - 13 رَ: زَ.

30 *Exemple* : Soient *AB*, *CD*, *EF* / les trois perpendiculaires à la droite *BDF*. On prolonge la perpendiculaire du milieu qui est *CD* du côté opposé au côté de *C* jusqu'au point *G* ; on joint *GB* et *GF*.

Je dis que l'angle *ABG* est égal à *EFG*.

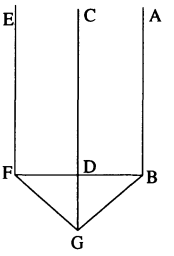


Fig. 13

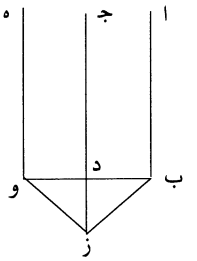
Démonstration : *CD* est perpendiculaire à *BF*, donc les quatre angles *D* sont droits. Soit *DG* commun à *FGD* et *DGB*, on a *BD* égal à *FD*, donc la droite *BG* est égale à la droite *FG*, donc l'angle *FBG* est égal à l'angle *BFG* et l'angle *ABF* est égal à l'angle *EFB*. Si on ajoute à des <angles> égaux des <angles> égaux, <les angles> seront égaux. L'angle *ABG* est donc égal à l'angle *EFG*. Ce qu'il fallait démontrer.

– 14 – Nous pouvons construire un miroir sur lequel autant de rayons que l'on veut se réfléchissent en un même point de la perpendiculaire menée de son centre, plus justement perfectionné que celui construit par Anthémius.

Soit l'exemple : traçons le cercle *ABCD* et traçons à l'intérieur de ce cercle une figure de côtés droits et égaux dont le nombre est égal au nombre des rayons que l'on veut réfléchir en un seul point. Que le nombre des côtés soit pair, que le nombre voulu des rayons soit vingt-quatre, alors les côtés de la figure traçée dans le cercle sont vingt-quatre côtés égaux dont l'un est la droite *AF* ; le centre du cercle est *E*. /

المثال: إن أعمدة ا ب جـ د ه و / الثلاثة على خط ب د و. وقد أخرج الأوسط منها الذي هو جـ د في الجهة المخالفة لجهة جـ إلى نقطة ز، ووصل ز ب ز و.

فأقول: إن زاوية ا ب ز مساوية ه و ز.



البرهان: أن جـ د عمود على ب و، فزوايا د الأربع قائمة. وليكن د ز مشتركًا <لـ>و ز د د ز ب، <فيكون ب د> مثل و د [د ر]، فخط ب ز مثل خط و ز، فزاوية و ب ز مثل زاوية ب و ز، وزاوية ا ب و مثل زاوية ه و ب. والمتساوية إذا زيد عليها متساوية صارت متساوية. فزاوية ا ب ز مثل زاوية ه و ز؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

- يد - وقد يمكننا أن نعمل مرآة ينعكس منها - كم شعاع شئنا - <على نقطة واحدة> من العمود الخارج من مركزها أتقن مما عمل أثناميوس سديداً.

فليكن المثال: أن نخط دائرة ا ب جـ د، ونخط فيها شكلاً ذا أضلاع مستقيمة متساوية بعدّة ما نريد من الشعاعات التي نريد أن نعكسها على نقطة واحدة. وليكن عدد الأضلاع زوجًا، فليكن ما نريد من عدد الشعاعات أربعة وعشرين شعاعًا، فيكون أضلاع الشكل المخطوط في الدائرة أربعة وعشرين ضلعًا متساوية أحدها خط ا و ومركز الدائرة ه. /

4 ه و ز: ه د ر - 5 عمود: عمودا / د: ب / د ز: د ر - 6 و ز د: و ب د / د ز ب: د ر / ب ز: ح ز - 12 سديداً: شديدا، والمقصود اتقانًا سديداً - 16 وعشرين: وعشرون.

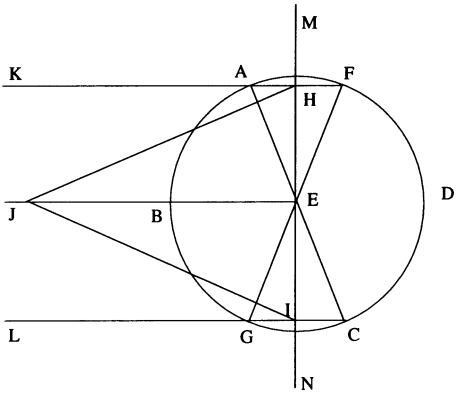
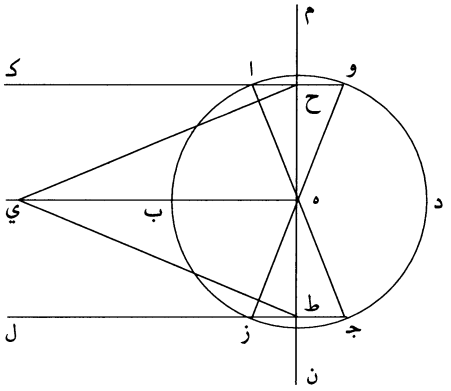


Fig.14

31 Partageons *AF* en deux moitiés au point *H* ; de *H* menons une droite jusqu'à *E* et joignons *AE* et *EF*, prolongeons <la droite> *AE* jusqu'au point *C* du cercle *ABCD* et prolongeons la droite *FE* jusqu'au point *G* du cercle *ABCD*, joignons *CG* et prolongeons <la droite> *HE* de *E* jusqu'en *I* sur la droite *CG*. L'angle *AEF* est égal à l'angle *CEG* et les deux triangles *AEF* et *GEC* sont égaux, donc *AF* et *CG* sont égaux. Le triangle *AEF* est égal au triangle *CEG* et lui est semblable, donc les angles *AFG*, *ACG*, *FAC*, et *FGC* sont égaux. Mais la droite *AC* coupe les deux droites *AF* et *CG* et les deux angles alternes-internes sont donc égaux ; les deux droites *AF* et *CG* sont alors parallèles et de même la droite *EI* qui coupe les deux droites *AF* et *CG* qui sont parallèles forme des angles alternes-internes
32 égaux ; / l'angle *FHI* est droit car *HE* est perpendiculaire à *AF*, donc l'angle *HIG* est droit et *EI* est perpendiculaire à *CG*. Les côtés égaux se trouvent donc dans le cercle et les perpendiculaires qui en partent jusqu'au centre du cercle sont égales, donc *EH* et *EI* sont égales car ce sont deux perpendiculaires menées des deux droites *AF* et *CG* égales dans le cercle jusqu'à *E* qui est le centre du cercle. Or *H*, *E*, *I* sont sur une droite qui passe par le centre : c'est donc un diamètre. Par conséquent si nous imaginons *E*, qui est le centre, à une certaine profondeur, c'est-à-dire que les deux droites *HE* et *EI* délimitent un angle *HEI* et que deux



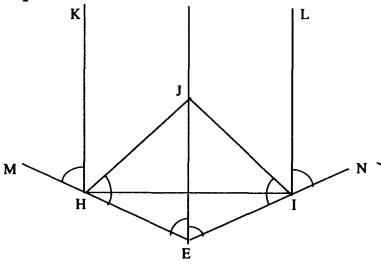
ونفصل آ و بنصفين بنقطة ح، ونخرج من ح خطًا إلى ه، ونصل آ ه و، ٣١
ونخرج آ ه على استقامة إلى نقطة جـ من دائرة آ ب جـ د، وخط و ه على استقامة إلى نقطة ز من دائرة آ ب جـ د، ونصل جـ ز، ونخرج ح ه على استقامة من ه إلى ط من خط جـ ز. فزاوية آ ه و مثل زاوية جـ ه ز و<مثلثا> آ ه و وز ه جـ متساويان فـ آ و وجـ ز متساويان. ومثلث آ ه و مساوي مثلث جـ ه ز وشبيه به، فزوايا آ و ز وآ جـ ز وو آ جـ <وو ز جـ> متساوية. وخط آ جـ قد وقع على خطي آ و جـ ز، فصيّر الزاويتين المتبادلتين متساويتين، فخطا آ و جـ ز متوازيان؛ وكذلك خط ه ط الواقع على خطي آ و جـ ز المتوازيين زواياه المتبادلة متساوية،/ وزاوية و ح ط قائمة لأن ح ه عمود على آ و، ٣٢
فزاوية ح ط ز قائمة وه ط عمود على جـ ز. فالأضلاع المتساوية التي تقع في الدائرة <و>الأعمدة التي تخرج منها إلى مركز الدائرة متساوية، فـ ه ح ه ط متساويان لأنهما عمودان خرجا من خطي آ و جـ ز المتساويين في الدائرة إلى ه التي هي مركز الدائرة. وح ه ط إذاً هي على <خط يمرّ على> المركز، فهو خط القطر. فإذن، إذا توهمنا ه التي هي المركز ذات عمق، أعني أن يكون خطا ح ه ط يحيطان بزاوية ح ه ط، وكل مثلثين من المثلثات

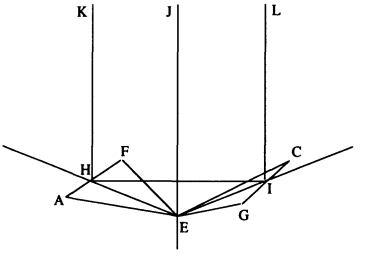
3 زَ: دَ – 5 متساويان (الأولى): متساوية وهو جائز أيضًا على اعتبار أن أقل الجمع اثنان / جـ د: جـ ز – 6 فزوايا: فزاويا / و آ د: و جـ آ – 12 مركز: كتبها «المركز» ثم حذف «الـ».

triangles, parmi les triangles opposés dont les perpendiculaires sont sur le même diamètre du cercle, sont tels que leurs perpendiculaires délimitent un angle <de sommet> *E* et chacun des angles est égal à l'angle *HEI*, alors les rayons se réfléchissent de la surface[60] de chaque triangle en un seul point. La figure du miroir sera donc composée de triangles dont deux côtés sont égaux et dont les bases sont égales, et les angles délimités par les côtés égaux sont aigus et égaux, tels que les angles aigus des triangles se rencontrent en un point de l'axe du miroir, que les bases des triangles sont les côtés qui entourent le miroir et que la somme des angles aigus <au sommet> des triangles est inférieure à quatre angles droits[61].

Le procédé pour démontrer la réflexion des rayons de la surface de chacun des triangles en un seul point est le même que dans la proposition qui précède celle-ci[62]. En effet, si nous menons du point *E* une droite perpendiculaire au diamètre du miroir comme la droite *EJ* et telle que le point sur lequel tombe le rayon réfléchi du point *H* soit le point *J*, alors *J* est le point sur lequel tombe le rayon réfléchi du point *I*, car les rayons
33 tombent du soleil à tout moment sur les corps / suivant des droites parallèles et se réfléchissent suivant des angles égaux, comme nous l'avons expliqué auparavant. Les rayons menés du soleil aux points *H* et *I* sont donc les deux rayons *KH* et *LI* ; ils sont donc parallèles. Si donc le rayon *KH* se réfléchit au point *H* vers le point *J*, si on prolonge la droite *EH* du point *H* jusqu'au point *M* et si on prolonge la droite *EI* du point *I* jusqu'au point *N*, alors l'angle *MHI* est égal à l'angle *NIH* ; de même *JE*, le

[60] Voir note complémentaire 14.1.
[61] Voir note complémentaire 14.2.
[62] Proposition 13.

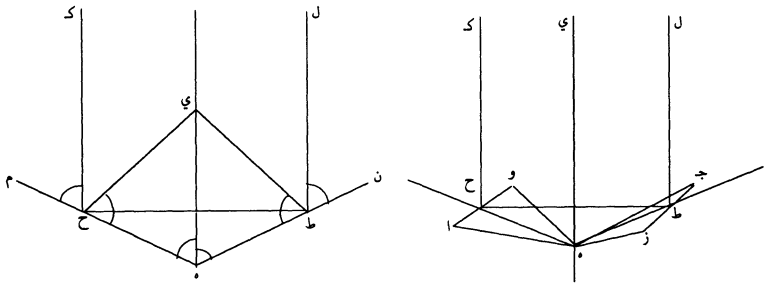




المتقابلة التي أعمدتها على قطر واحد من الدائرة تحيط أعمدتها بزاوية على هَ، وكل واحدة من الزوايا مساوية زاوية حَ هَ طَ، انعكست الشعاعات من سطح كل مثلث على نقطة واحدة. وكان شكل المرآة مركبًا من مثلثات متساوية السوق، متساوية القواعد، حادة الزوايا التي تحيط بها السوق ومتساويتها، ويكون مجتمع زوايا مثلثاتها الحادة على نقطة من محور المرآة، وقواعد مثلثاتها هي الأضلاع المحيطة بالمرآة ويكون جملة زوايا مثلثاتها الحادة أقلّ من أربع زوايا قوائم.

والتدبير في برهان انعكاس الشعاعات من سطح كل مثلث على نقطة واحدة كالتدبير في الشكل الذي قبل هذا. وذلك أنا إذا أخرجنا من نقطة هَ خطًا يكون عمودًا على قطر المرآة كخط هَ يَ، وكانت النقطة التي يقع عليها الشعاع المنعكس من نقطة حَ هي نقطة يَ، فإن يَ هي النقطة التي يقع عليها الشعاع المنعكس من نقطة طَ؛ لأن الشعاعات تقع من الشمس في كل وقت على الأجرام / بخطوط متوازية وتنعكس على زوايا متساوية كما قد ٣٣ أوضحنا قبل. فالشعاع الخارج من الشمس إلى نقطتي حَ طَ <هو> شعاعا كَ حَ لَ طَ، فهما متوازيان. فإذ قد انعكس شعاع كَ حَ من نقطة حَ إلى نقطة يَ، فإنا إذا أخرجنا خط هَ حَ على استقامة من نقطة حَ إلى نقطة مَ وخطَّ هَ طَ على استقامة من نقطة طَ إلى نقطة نَ، فإن زاوية م ح ط مساوية

2 انعكست: جواب الشرط في قوله «إذا توهمنا» / مثلث: مثلثه - 4 مركبًا: مركب - 11-12 نقطة حَ ... المنعكس من: أضافها الناسخ في الهامش مع الإشارة إلى موضعها في النص - 12 النقطة: النقط - 14 فالشعاع: اسم جنس لمطلق الشعاعات / ح ط: ح ط 15- كَ حَ: ط ح - 17 هَ طَ: حَ طَ / نَ: زَ - هذان الشكلان لإيضاح برهان الكندي ولا وجود لهما في المخطوطة:



rayon émanant du soleil, est parallèle à *KH* et *LI* ; par conséquent, *JE* est perpendiculaire au diamètre du miroir, donc *KH* et *LI* sont deux perpendiculaires au diamètre du miroir et ne sont pas perpendiculaires aux deux droites *HE* et *EI* qui délimitent l'angle *E*.

Or nous avons montré dans l'introduction de ce livre[63] que si trois perpendiculaires à une même droite sont parallèles et à des distances égales les unes des autres, et si ensuite on prolonge – d'un prolongement quelconque – la perpendiculaire du milieu du côté de la droite sur laquelle on a abaissé les perpendiculaires, et si ensuite on mène des extrémités de la première et de la troisième perpendiculaires qui sont sur la même droite à l'extrémité de la perpendiculaire du milieu qui dépasse cette droite, des droites, alors l'angle délimité par la première <perpendiculaire> et la droite qui joint la première <perpendiculaire> à l'extrémité de la perpendiculaire du milieu est égal à l'angle délimité par la troisième et la droite qui joint l'extrémité de la troisième <perpendiculaire> à l'extrémité de la perpendiculaire du milieu. L'angle *KHE* est par conséquent égal à l'angle *LIE* et il reste l'angle *KHM* égal à l'angle *LIN*.

Le rayon *LI* se réfléchit donc au point *I* suivant un angle égal à *LIN* ; il se réfléchit par conséquent suivant un angle égal à *KHM* ; mais *KHM* est
34 égal à *JHE*, / donc le rayon *LI* se réfléchit au point *I* suivant un angle égal à l'angle *JHE*, il rencontre par conséquent le point *J* ; en effet, l'angle *JIE* est égal à l'angle *JHE* car *HE* et *IE* sont égaux et *JE* est une perpendiculaire à la droite qui joint *H* et *I* et la sépare en deux moitiés ; elle partage donc l'angle *HEI* en deux moitiés. Mais les deux droites *HE* et *IE* sont égales et *JE* est commun, donc les deux droites *JI* et *JH* sont égales et les deux triangles *JHE* et *JIE* sont égaux et chaque angle est égal à son homologue, <donc l'angle *EIJ* est égal à l'angle *EHJ*. Par conséquent, les deux rayons réfléchis se coupent au point *J* de la droite *JE*.

– 15 – Soit la droite *AB* le diamètre du miroir que nous voulons construire. Menons la droite *DE* qui partage la droite *AB* en deux moitiés et qui lui est perpendiculaire ; et soit *D* le point vers lequel nous voulons que se réfléchissent les rayons. Menons la droite *AI* parallèle à la droite *DE*, prolongeons *IA* jusqu'au point *Q*, et faisons que la distance *AQ* soit égale à la distance *AD*. Menons par *Q* la droite *QE* parallèle à la droite

[63] Voir proposition 13. Par "introduction" ici, il entend seulement "ce qui précède".

زاوية ن ط ح. وأيضًا ي ه، الشعاع الخارج من الشمس موازي ك ح ل ط، فإذن ي ه عمود على قطر المرآة، فـ ك ح ل ط عمودان على قطر المرآة وليسا بعمودين على خطي ح ه ه ط المحيطين بزاوية ه.

وقد بيّنا في صدر كتابنا هذا أن كل ثلاثة أعمدة على خط متوازية، متساوي أبعاد بعضها من بعض، ثم زيد في الأوسط زيادة ما على استقامة من جهة الخط الذي قامت عليه الأعمدة، ثم أخرج من أطراف الأول والثالث التي على خط واحد إلى طرف الأوسط الزائد على ذلك الخط خطان، فإن الزاوية التي يحيط بها الأول والخط الذي يصل الأول بطرف الأوسط مثل الزاوية التي يحيط بها الثالث والخط الذي يصل الثالث بطرف الأوسط. فزاوية ك ح ه إذن مساوية زاوية ل ط ه، وتبقى زاوية ك ح م مساوية زاوية ل ط ن.

فشعاع ل ط ينعكس من نقطة ط على زاوية مساوية ل ط ن، وهو ينعكس إذن على زاوية مساوية ك ح م؛ وك ح م مساوية ي ح ه / فشعاع ٣٤ ل ط ينعكس من نقطة ط على زاوية مثل زاوية ي ح ه، فهو إذن يقع على نقطة ي؛ لأن زاوية ي ط ه مثل زاوية ي ح ه، لأن ح ه ط ه متساويان وي ه عمود على الخط الذي يصل ح ط على استقامة ويفصله بنصفين، فهو يقسم زاوية ح ه ط بنصفين. وخطا ح ه ط ه متساويان، وي ه مشترك، فخطا ي ط ي ح متساويان، ومثلثا ي ح ه ي ط ه متساويان، وكل زاوية مثل نظيرتها، ‹فزاوية ه ط ي مثل زاوية ه ح ي. فالشعاعان المنعكسان يلتقيان على نقطة ي من خط ي ه›.

‹يه› ‹ليكن خط ا ب قطر المرآة التي نريد أن نعملها. ونخرج خط د ه الذي يقسم خط ا ب بنصفين عموداً عليه، ولتكن د النقطة التي نريد أن ينعكس الشعاع عليها. ونخرج خط ا ط موازيًا لخط د ه، ونخرج ط ا على استقامته إلى نقطة ق، ونصيّر بعد ا ق مساويًا بعد ا د، ونخرج من ق خط

1 ن ط ح: ي ح ه / ك ح: ط ح – 2 ك ح: ط ح / عمودان: عمودين – 4 صدر: انظر شكل يجـ، ويقصد بالصدر هنا ما سبق ما نحن فيه – 5 متساوي: مساوي – 7 خطان: خطين – 9 الثالث (الأولى والثاني): الثاني / ك ح ه: د ح ه – 11 ل ط ن: ا ط ز – 18 مشترك: مشتركه / ي ح ه: ز ح ه – 19 نظيرتها: يعقبها بياض في الأصل حتى آخر الصفحة.

AB et partageons la droite *QE* en parties égales, soient *QH*, *HJ* et *JE*, et menons les droites *HK* et *JL* parallèles à la droite *DE*. Partageons l'angle *QAD* en deux moitiés par la droite *FAM* et plaçons *M* sur la droite qui partage la droite *QH* en deux moitiés et qui est parallèle à la droite *QI*. Joignons *MQ*, *MH* et *MD*. Partageons l'angle *HMD* en deux moitiés par la
35 droite *MGS*, plaçons *S*>[64] / sur la droite qui partage la droite *HJ* en deux moitiés et qui est parallèle à la droite *HK*, joignons *SH*, *SJ* et *SD*, et marquons là où la droite *MS* a coupé la droite *HK*, le point *G* ; joignons *GD*, partageons l'angle *JSD* en deux moitiés par la droite *SOP* et plaçons *O* sur la droite *JL* et *P* sur la droite qui partage *JE* en deux moitiés et qui est parallèle à la droite *JL*. Joignons *OD*, *JP*, *EP* et *PD* et partageons l'angle *EPD* en deux moitiés par la droite *PU*.

Je dis que le rayon *IA* se réfléchit au point *A* vers le point *D*, que le rayon *KG* se réfléchit également au point *G* vers le point *D* et que le rayon *LO* se réfléchit également au point *O* vers le point *D*.

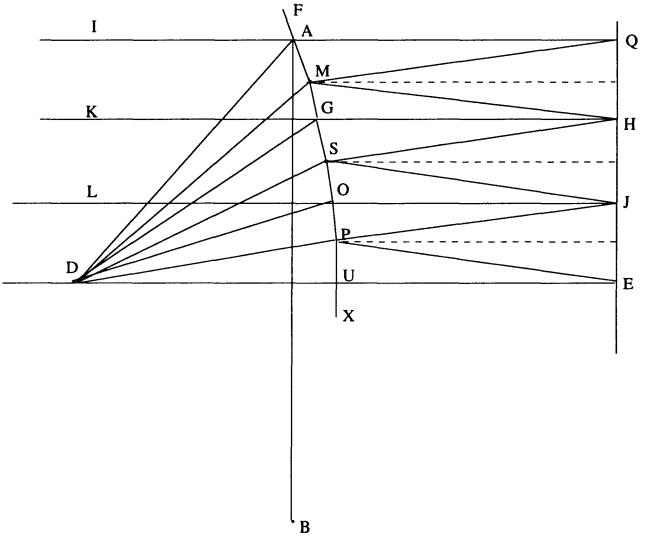
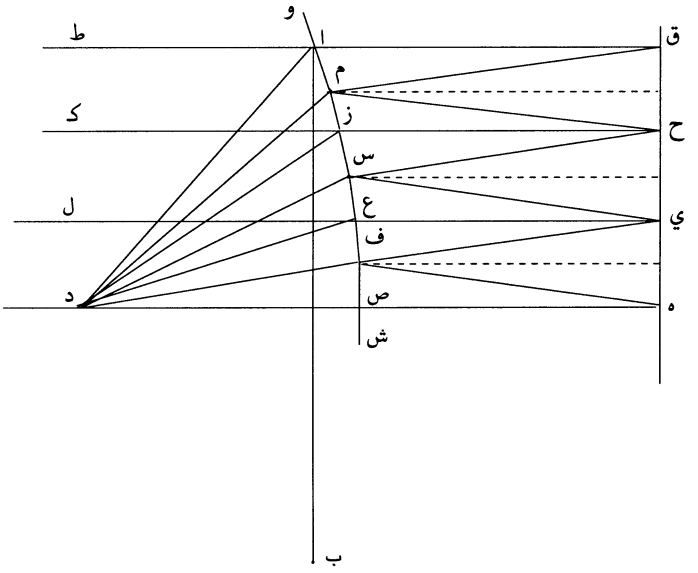


Fig. 15

64 <... > Cette partie manque au texte arabe et a été restituée par nous.

قَ هَ موازيًا لخط اَ بَ. ونقسم خط قَ هَ بأقسام متساوية، ولتكن قَ حَ حَ يَ يَ هَ. ونخرج خطي حَ كَ يَ لَ موازيين لخط دَ هَ. ولنقسم زاوية قَ اَ دَ بنصفين بخط وَ اَ مَ، ونصيّر مَ على الخط الذي يقسم خط قَ حَ بنصفين ويوازي خط قَ طَ، ونصل مَ قَ مَ حَ مَ دَ. ولنقسم زاوية حَ مَ دَ بنصفين بخط مَ زَ سَ، ونصيّر سَ> / على الخط الذي يقسم خط حَ يَ بنصفين ويوازي خط حَ كَ، ٣٥ ونصل سَ حَ سَ يَ سَ دَ، ونتعلم حيث قاطع خط مَ سَ خط حَ كَ علامة زَ، ونصل زَ دَ، ونقسم زاوية يَ سَ دَ بنصفين بخط سَ عَ فَ. ونصيّر عَ على خط يَ لَ وفَ على الخط الذي يقسم خط يَ هَ بنصفين ويوازي خط يَ لَ، ونصل عَ دَ يَ فَ هَ فَ فَ دَ، ونقسم زاوية هَ فَ دَ بنصفين بخط فَ صَ.

فأقول: إن شعاع طَ اَ ينعكس من نقطة آ إلى نقطة دَ، وشعاع كَ زَ أيضًا ينعكس من نقطة زَ إلى نقطة دَ، وشعاع لَ عَ أيضًا ينعكس من نقطة عَ إلى نقطة دَ.



7 يَ سَ دَ: حَ سَ دَ / بخط: فخط – 9 ونصل: وم ل / يَ فَ: يَ وَ / هَ فَ: هَ وَ / فَ دَ: وَ دَ / هَ فَ دَ: هَ وَ دَ / فَ صَ: وَ مَ – 10 كَ زَ: دَ رَ – ليس هذا الشكل في المخطوطة. ولعله كان في الصفحة التي كانت تتضمن ما فُقد من الشكل.

Démonstration : La droite *MAF* a partagé l'angle *QAD* en deux moitiés et a coupé la droite *QAI* au point *A*, l'angle *FAI* est donc égal à l'angle *QAM* et l'angle *QAM* est égal à l'angle *MAD*, donc l'angle *FAI* est égal à l'angle *MAD*, donc le rayon *IA* se réfléchit au point *A* vers le point *D*. De même la droite *MGS* a partagé l'angle *HMD* en deux moitiés et a coupé la droite *HGK* au point *G*, donc l'angle *MGK* est égal à l'angle *HGS* et l'angle *HGS* est égal à l'angle *SGD*, donc l'angle *MGK* est égal à l'angle *SGD*, donc le rayon *KG* se réfléchit au point *G* vers le point *D*.

De même, la droite *SOP* partage l'angle *JOD* en deux moitiés et coupe la droite *JOL* au point *O*, l'angle *SOL* est donc égal à l'angle *JOP* et
36 l'angle *JOP* est égal à l'angle *POD*, donc l'angle *SOL* est égal / à l'angle *POD*, donc le rayon *LO* se réfléchit au point *O* vers le point *D*.

Quant au rayon *DU*, puisque les deux angles de part et d'autre de ce rayon sont égaux, c'est-à-dire les deux angles *PUD* et *XUD*, car ce rayon est perpendiculaire à la droite *PX*, il se réfléchit donc au point *U* vers le point *D*, il se réfléchit donc sur lui-même.

Et par le même procédé, nous délimitons les surfaces restantes[65] sur lesquelles se réfléchissent les rayons qui sont dans la direction de *UB*, on a alors le gabarit de ce miroir avec des angles égaux et égaux à des angles suivant les droites *FAM*, *MGS*, *SOP* et dont les côtés sont égaux[66]. Ce qu'il fallait démontrer.

Fin du livre. Grâces soient rendues à Dieu Unique ; qu'Il bénisse notre Seigneur Muḥammad, les siens et ses compagnons ; que sur eux il répande une grande paix.

J'ai achevé la transcription de ce livre au début du second tiers de la nuit précédant le mardi sept du mois sacré Dhū al-qa'da, l'an huit cent quatre-vingt-dix de la Sainte Hégire, dans ma demeure, en face de l'école al-Kāmiliyya, maison de la parole du Prophète ; que la meilleure bénédiction et la plus grande paix soient sur celui qui l'a prononcée, dans la voie de Bayn al-Qaṣrayn du Caire mu'ezzite ; que Dieu la protège des fléaux et des épreuves, et qu'il la garde comme demeure de l'Islam tout au long des temps. Dieu nous comble, c'est Lui qui nous protège.

---

[65] Voir note complémentaire 15.1.

[66] Voir note complémentaire 15.2.

برهان ذلك: أن خط م ا و قد قسم زاوية ق ا د بنصفين وقاطع خط ق ا ط على نقطة <آ>، فزاوية و ا ط مساوية زاوية ق ا م، وزاوية ق ا م مساوية زاوية م ا د، فزاوية و ا ط مساوية زاوية م ا د، فشعاع ط ا منعكس من نقطة آ إلى نقطة د. وأيضًا، خط م ز س قد قسم زاوية ح م د بنصفين وقاطع خط ح ز ك على نقطة ز، فزاوية م ز ك مساوية زاوية ح ز س، وزاوية ح ز س مساوية زاوية س ز د، فزاوية م ز ك مساوية زاوية س ز د، فشعاع ك ز ينعكس من نقطة ز إلى نقطة د.

وأيضًا، خط س ع ف قد قسم زاوية ي ع د بنصفين وقاطع خط ي ع ل على نقطة ع، فزاوية س ع ل مساوية زاوية ي ع ف، وزاوية ي ع ف مساوية زاوية ف ع د، فزاوية س ع ل مساوية / زاوية ف ع د، فشعاع ٣٦ ل ع ينعكس من نقطة ع إلى نقطة د.

وأما شعاع د ص، فلأن الزاويتين اللتين عن جنبتيه متساويتان، أعني زاويتي ف ص د ش ص د، لأنه عمود على خط ف ش، فإنه ينعكس من علامة ص إلى نقطة د، فهو ينعكس على ذاته.

وبهذا التدبير نحدّ السطوح الباقية التي ينعكس منها الشعاع الذي في جهة ص ب، فتكون مسطرة هذه المرآة ذات زوايا متساوية ومساوية زوايا على حسب خطوط و ا م م ز س س ع ف، ومتساوية أضلاعها؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.

آخر الكتاب والحمد لله وحده، وصلى الله على سيدنا محمد وآله وصحبه، وسلم تسليماً كثيراً.

نجزت كتابة ما وجدته من هذا الكتاب في أول الثلث الثاني من ليلة يسفر صباحها عن يوم الثلاثاء سابع ذي القعدة الحرام سنة تسعين وثماني مائة للهجرة المطهرة، بمنزل سكني تجاه المدرسة الكاملية، دار الحديث النبوي، على قائله أفضل الصلاة والسلام، بخط بين القصرين من القاهرة المعزية حماها الله من الآفات والمحن، وجعلها دار إسلام على طول الزمن. وحسبنا الله ونعم الوكيل.

1 ق ا د: و ا د / ق ا ط: و ا ط - 2 ق ا م (الأولى والثانية): و ا م - 4 منعكس: وهو صحيح إلا أننا نعتقد أنها كانت في الأصل «ينعكس» - 5 ح ز ك: ح ز د - 7 ك ز: د ز / ز: د / د: ز - 8 س ع ف: س ع ر - 9 ي ع ف (الأولى والثانية): ي ع و - 10 ف ع د (الأولى والثانية): و ع د - 12 د ص: ب ص / متساويتان: متساويتين - 13 ش ص د: س ص د / ف ش: فس - 17 حسب: نسب / م ز س: ر س / س ع ف: ع ص و / متساوية: ومساوية.

NOTES COMPLÉMENTAIRES

[Prop. 3, p. 371, *l.* 15] Si on considère deux rayons solaires quelconques tombant l'un sur AB l'autre sur BC, les rayons réfléchis correspondants se coupent à l'intérieur du losange, mais pas nécessairement sur GH. Cependant si un rayon tombant sur AB se réfléchit en passant par un point I de GH, il existe un rayon tombant sur BC tel que son rayon réfléchi passe aussi par I. [Voir chapitre III, Fig. prop. 3, p. 101]

[Prop. 4, p. 375, *l.* 12 ; p. 377, *l.* 3]
(1) En effet les plans tangents à la surface conique engendrés le long des droites GA et GC forment un dièdre et GF est la bissectrice de son angle plan AGC. Donc les rayons solaires parallèles à EG tombant en A et en C sont réfléchis vers le point F.

(2) L'angle EFA n'est pas égal à EGA, et le triangle AGF n'a pas d'angle droit. Il semble qu'il y ait ici une confusion entre le point F centre du cercle passant par A, G et C et le point F' diamétralement opposé à G sur ce cercle. Les triangles AGE et AFE ne sont pas semblables mais AGE et $AF'E$ le sont et on a $EA^2 = GE \cdot EF'$, d'où

$$EF' = \frac{AE^2}{GE}.$$

On en déduit

$$GF = \frac{GE + EF}{2} = \frac{AE^2 + GE^2}{2GE}.$$

Notons qu'al-Kindī, au cours de cette proposition [p. 375, *l.* 2-3], affirme avoir eu connaissance des travaux grecs sur les miroirs ardents et avoir écrit lui-même sur ce thème. Il s'agissait très probablement de son traité sur la *Construction des miroirs ardents* [cf. p. 375, *l.* 2].

[Prop. 5, p. 377, *l.* 15] Al-Kindī utilise sans le dire le fait que le rayon réfléchi est dans le plan défini par le rayon incident et la normale au miroir, donc dans le plan diamétral contenant le rayon incident. Il prend le grand cercle de ce plan.

[Prop. 6, p. 380, *l.* 3 ; p. 383, *l.* 9]
(1) Il s'agit d'angles déterminés par une corde et par l'arc qu'elle sous-tend ; et cette égalité et celles qui vont suivre résultent des lois de la réflexion.

(2) Ceci supposerait que AK passe en H, or c'est ce qu'al-Kindī veut démontrer. Notons que ce paragraphe n'intervient pas dans la démonstration qu'al-Kindī achève en raisonnant par l'absurde.
[Prop. 7, p. 385, *l.* 8 ; p. 387, *l.* 7]
(1) Il s'agit ici de l'angle de la droite GB avec l'arc GC d'une part et de l'angle de la droite FB avec l'arc BFD d'autre part. L'égalité de ces angles entraîne que le rayon FB se réfléchit suivant BG.

(2) Les angles qui restent étant égaux par construction on en déduit que les angles FBE et EBG, qui sont leurs compléments, sont égaux. Notons que la position du point H sera étudiée dans la proposition 10.

[Prop. 9, p. 391, *l.* 6] Le rayon réfléchi en A ou en B est porté par la droite AB; le rayon réfléchi en tout autre point du cercle rencontre la droite AB en G.

[Prop. 12, p. 403, *l.* 11 ; p. 407, *l.* 7]
(1) Au centre de chaque miroir tombe un rayon solaire auquel correspond un rayon réfléchi. Al-Kindī étudie les rayons réfléchis.

(2) On les enlève aux angles $RZ'E_e$ et $L_aO'M_m$ qui sont égaux d'après les lois de la réflexion (car les angles d'incidence en Z' et O' sont égaux). R et L_a sont respectivement les intersections des rayons réfléchis en Z' et en O' avec la perpendiculaire en W au plan $ABCDEF$.

[Prop. 14, p. 413, *l.* 2, *l.* 7]
(1) Les rayons tombant aux points tels que H et I, c'est-à-dire les milieux des 24 segments égaux, vont se réfléchir en un seul point.

(2) Dans la figure plane la somme des angles de sommet E est égale à quatre droits. Si le point E n'est plus dans le plan du polygone, mais "à une certaine profondeur", chaque triangle tel que AFE aura une hauteur HE plus grande que dans la ligne plane, donc chacun des angles tels que l'angle AEF deviendra plus petit et la somme de ces angles sera inférieure à quatre angles droits.

[Prop. 15, p. 419, *l.* 15, *l.* 17]
(1) Chacune des droites FAM, MGS, SOP détermine un miroir dont le plan est perpendiculaire au plan de la figure. Le même procédé permet de compléter la construction jusqu'au point B et on a alors sept rayons réfléchis se coupant en D.

(2) À la droite FAM par exemple sont associés trois angles égaux FAI, DAM et MAQ. Ces deux derniers ont AM pour côté commun et leurs seconds côtés AQ et AD sont égaux.

3. TEXTE ET TRADUCTION

Fragment sur les grandeurs des figures immergées dans l'eau

Fiqra fī ʿaẓām al-ashkāl al-ghā'iṣa fī al-mā'

FRAGMENT SUR LES GRANDEURS DES FIGURES IMMERGÉES DANS L'EAU

A-2v Il a dit : les grandeurs des figures immergées dans l'eau sont vues d'autant plus grandes que les figures sont plus immergées.

Démonstration : Il a été montré, dans nos livres, dans les liminaires des *Perspectives*[1], qu'un rayon se réfléchit suivant des angles égaux[2], et que, sur les surfaces des corps transparents, un rayon se réfléchit suivant des angles égaux et que les réfléchis[3] qui parviennent perpendiculairement à la surface de l'eau traversent l'eau suivant le prolongement des perpendiculaires à la surface de l'eau.

Soit la droite *AB* sur la surface de l'eau et le point *C* la position de l'œil. Supposons les deux distances *CB* et *CA* égales et la surface de l'eau la droite *DBAE* sans extrémités limitées. La grandeur *AB* est perçue par le rayon dont les extrémités sont *CB* et *CA*, le rayon *CB* se réfléchit vers le point *F*, l'angle *DBF* est égal à l'angle *CBA*, le rayon *CA* se réfléchit du <point> *A* vers <le point> *G* et l'angle *GAM* est égal à l'angle *CAB*. Si le corps *AB* est immergé pour venir dans la position de la droite *HI*, le rayon *FB* - qui tombe sur la surface de l'eau qui est la droite *DE* - traverse sur le prolongement de *FB*, à partir de *B* dans l'eau et tombe au point *J* de la droite *HI*. De même la droite *GA* traverse l'eau sur le prolongement de la droite *GA* à partir du point *A* et tombe sur le point *K* A-3r de la droite *HI*. / Donc le rayon *FB* et le rayon *GA* ne tombent pas sur les deux points *H* et *I*. Par conséquent, sur les deux points *H* et *I* tombent des rayons menés de *C* et qui entourent un angle plus grand que l'angle *ACB*, ce sont les deux rayons *CL* et *CM*.

---

[1] Dans sa compilation, Ibn 'Īsā a modifié cette expression pour écrire "ce que nous avons introduit précédemment (*kamā qadamnā*)". C'est sa manière de faire disparaître les traces de la compilation des écrits de ses prédécesseurs et en particulier de ceux d'al-Kindī.

[2] Voir par exemple la proposition 16 du *De aspectibus*.

[3] Par les réfléchis, il désigne les réfléchis des rayons visuels.

‹ فقرة في أعظام الأشكال الغائصة في الماء ›

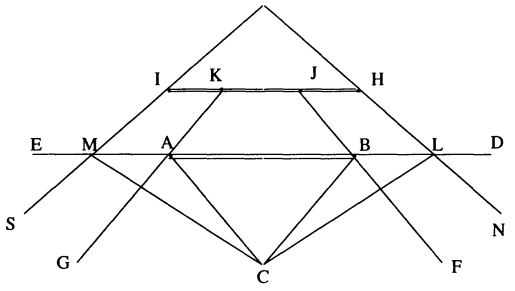
قال: أعظام الأشكال الغائصة في الماء كلما غاصت ترى أعظم. ١ - ٢ - ظ

برهان ذلك: أنه قد تبيّن في أوائل *المناظر* من كتبنا أن الشعاع ينعكس على زوايا متساوية وأن الأجسام ذوات المستشف ينعكس عن سطوحها الشعاع على زوايا متساوية ويمضي في الماء من المنعكسات التي تصير قائمة على وجه الماء على استقامة القائمة على وجه الماء.

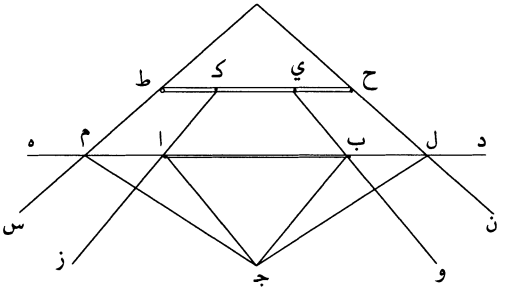
فليكن خط آ ب على وجه الماء وموضع الناظر علامة جـ. ونفرض بعدي جـ ب جـ آ متساويين وسطح الماء خط د ب ا ه غير محدود النهايات. فعظم آ ب يحسّ بالشعاع الذي نهايتيه جـ ب جـ آ وشعاع [جـ ا] جـ ب [ا] ينعكس إلى علامة وَ وتصير زاوية د ب و مساوية لزاوية جـ ب ا، وشعاع جـ آ ينعكس من آ إلى زَ وتصير زاوية ز آ م مساوية لزاوية جـ آ ب. فإن غاص جسم آ ب فصار في موضع خط ح ط وشعاع و ب الواقع على سطح الماء الذي هو خط د ه، يمضي على استقامة و ب من ب في الماء، فيقع على علامة يَ من خط ح ط. وكذلك خط ز آ يمضي في الماء على استقامة من خط ز آ من علامة آ، فيقع على علامة كَ من خط ح ط. فإذاً / شعاع و ب وشعاع ز آ لا يقعان على علامتي ح ط. فإذاً ١ - ٣ - و إنما يقع على علامتي ح ط شعاعان يخرجان من جـ يحيطان بزاوية أعظم من زاوية آ جـ ب وهما شعاعا جـ ل جـ م.

2 أوائل المناظر من كتبنا: غيّر ابن عيسى هذه العبارة بالتالية «فيما قدمنا»، وهذه هي طريقته عندما يستعير نصوص الكندي وغيره / كتبنا: كتب «كتابنا»، ثم أثبتها فوقها – 11 لزاوية: زاوية – 12 الماء: كتب «ا ب د»، ثم أثبت الصواب فوقها – 13 بَ في: باقي – 15 إنما: ام.

Donc le rayon *CL* se réfléchit dans la direction de *F* en *N* et traverse l'eau en *L*, sur le prolongement de la droite *NL* jusqu'à ce qu'il passe par *H*. De même le rayon *CM* se réfléchit de *M* dans la direction de *G* jusqu'au point *S* et traverse l'eau en M sur le prolongement de *SM* jusqu'au point *I*. Donc les deux rayons *CL* et *CM* qui traversent l'eau de *L* jusqu'à *H* et de *M* jusqu'à *I* entourent un angle *LCM* qui est plus grand que l'angle *ACB* et on voit par eux la grandeur *AB* si elle est superposée à la droite *IH* plus grande que la droite *AB* qui est sur la surface de l'eau, laquelle est *DE*. Ce qu'il fallait démontrer.



فإن شعاع جـ ل ينعكس في جهة وَ إلى نَ، ويمضي على استقامة في الماء ‹من لَ› من خط نَ لَ حتى يمرّ على حَ. وكذلك شعاع جـ م ينعكس من مَ في جهة زَ إلى علامة سَ ويمضي على استقامة سَ م من مَ في الماء إلى علامة طَ. فإذن شعاعا جـ ل جـ م الماضيين في الماء من لَ إلى حَ ومن مَ إلى طَ، إذ هما محيطان بزاوية ل جـ م التي هي أعظم من زاوية ا جـ ب، يُرى بهما عظم ا ب إذا صار راكبًا بخط ط ح أعظم من خط ا ب الذي في سطح الماء الذي هو د ه؛ وذلك ما أردنا أن نبيّن.



1 وَ إلى نَ: الى ز اد ن – 4 طَ: كَ، وكتب بعدها «(ب ك) م ه ط» وكتب فوق (ب ك): «بويله ده اوقون بلور»، وهذا يعني «كما أنها يمكن أن تقرأ هكذا» / شعاعا: شعاعي / لَ: كتب بعدها «(اصله هكذا)».

4. TEXTE ET TRADUCTION

Fragment sur un miroir concave dont l'arc est le tiers de son cercle

Fiqra fī al-mir'ā al-muqa`ara allatī qawsuhā thulth dā'iratihā

< UN FRAGMENT SUR UN MIROIR CONCAVE DONT L'ARC EST LE TIERS DE SON CERCLE >

A-3r Il a dit : Tout miroir dont l'arc est un tiers de son cercle – je veux dire par son arc la ligne qui le sépare en deux moitiés au point du centre du miroir, arc sous-tendu par le diamètre du cercle du miroir – réfléchit les premiers rayons de ses extrémités vers le centre du miroir, c'est-à-dire /
A-3v le point dont la distance à <tout point> de la circonférence du miroir est la même si son gabarit est cette[1] portion du cercle. Quant au dernier rayon réfléchi, celui qui se réfléchit du centre du miroir, il tombe au centre du cercle dont le gabarit est une portion.

Exemple : Supposons le cercle *ABCD*, le cercle dont le gabarit du miroir est le tiers. Menons dans ce cercle les deux droites *AC* et *BD* qui se coupent suivant des angles droits au centre du cercle au point *E*. Supposons le gabarit l'arc *FG* et supposons que le point *C* le sépare en deux moitiés.

Je dis que les rayons menés du soleil jusqu'en *F* et jusqu'en *G* se réfléchissent au point *C*.

Démonstration : L'arc *FC* est un sixième du cercle *ABCD*, il reste de l'arc *BC* l'arc *BF* qui est la moitié d'un sixième. Le rayon mené du soleil jusqu'en *F* coupe par conséquent l'arc *AB* au point *H* ; mais les rayons se propagent à partir du soleil suivant des droites parallèles. La droite *HF* est donc parallèle à la droite *AC*, qui est le rayon mené du soleil jusqu'à *C* ;

[1] Litt. : une.

< فقرة في المرآة المقعرة التي قوسها ثلث دائرتها >

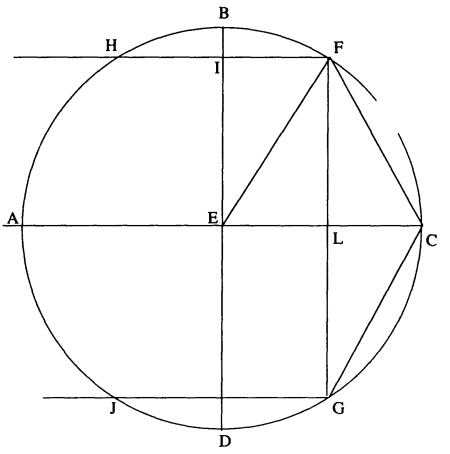
قال: كل مرآة قوسها ثلث دائرتها، أعني بقوسها الخط الفاصل لها ا - ٣ - و
بنصفين على نقطة مركز المرآة، وهي القوس التي يوترها قطر دائرة
المرآة، فإنها تعكس الشعاع الأول من نهايتيها على مركز المرآة، أعني
/ النقطة التي بُعدها من محيط المرآة بعد واحد، إذا كانت مسطرتها
قطعة من دائرة. وأما آخر شعاع ينعكس، وهو الذي ينعكس من ا - ٣ - ظ
مركزها، فإنه يقع على مركز الدائرة التي مسطرتها قطعة منها.

مثال ذلك: أن نفرض دائرة $\overline{\text{ا ب جـ د}}$ الدائرة التي مسطرة المرآة ثلثها. ونخرج فيها خطي $\overline{\text{ا جـ}}$ $\overline{\text{ب د}}$ يتقاطعان على زوايا قائمة على مركز الدائرة عند علامة هـ. ونفرض المسطرة قوس $\overline{\text{و ز}}$ ونفرض علامة $\overline{\text{جـ}}$ تفصلها بنصفين.

فأقول: إن الشعاع الخارج من الشمس إلى وَ وإلى زَ ينعكس إلى علامة جـ.

برهان ذلك: أن قوس $\overline{\text{و جـ}}$ سدس دائرة $\overline{\text{ا ب جـ د}}$، فيبقى من قوس $\overline{\text{ب جـ}}$ قوس $\overline{\text{ب و}}$ و<هي>نصف سدس. فإذاً الشعاع الخارج من الشمس إلى وَ يقطع قوس $\overline{\text{ا ب}}$ على علامة حَ، والشعاع يخرج من الشمس على خطوط متوازية. فخط $\overline{\text{ح و}}$ يوازي خط $\overline{\text{ا جـ}}$ الذي هو

1 قال: فلنقل [ر، ل، ع] / ثلث دائرتها: ناقصة [ر، ل، ع] – 2 المرآة: دائرتها [ر، ل، ع] / التي: الذي [ع] / يوترها: توترها [ل] – 3 المرآة: أثبتها في الهامش [ا] / تعكس: تنعكس [ر، ل، ع] – 4 التي: الذي [ع] / المرآة بعد واحد: الدائرة بُعداً واحداً [ر، ل، ع] – 5 دائرة: نجد بعدها «أعني بهذه المسطرة التي تعمل عليها المرآة لتحرق» [ر، ل، ع] / ينعكس: ينعكس منها [ر، ل، ع] – 6 منها: نجد بعدها «أعني ينعكس على نفسه» [ر، ل، ع] – 7 التي: ناقصة [ع] – 8 خطي: قطري [ر، ل، ع] – 9 المسطرة: القوس [ر، ل، ع] / $\overline{\text{و ز}}$: $\overline{\text{و جـ ز}}$ [ر، ل، ع] – 13 $\overline{\text{ا ب جـ د}}$: $\overline{\text{ا ب جـ}}$ [ع، ل] وأثبت ناسخ [ر] الدال فوقها – 14 سدس: نجد في [ر] فوقها بخط آخر «الدائرة»، أي سدس الدائرة – 16 متوازية: نجد بعدها «في الحسّ لما سوف نخبر به في موضعه الأخصّ به إن شاء الله تعالى» [ر، ل، ع] / يوازي خط: موازٍ لخط [ر، ل].

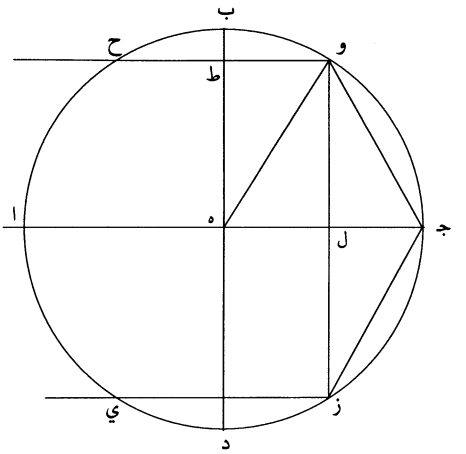


mais *AC* coupe le diamètre du miroir[2] qui est *BD* suivant des angles droits, par conséquent *HF* coupe la droite *BD* suivant des angles droits. Supposons le point *I* là où elle l'a coupée. La droite *FI* est donc égale à la droite *HI*, et ainsi la droite *HF* est la corde du sixième <du cercle>. Les droites qui coupent un même cercle de sorte que les angles de de ces portions soient égaux, font des portions égales. Mais les rayons se réfléchissent suivant des angles égaux, donc le rayon *HF* se réfléchit suivant une droite qui fait l'angle de sa portion égal à l'angle de la portion entourée par la corde *FH* et l'arc *HBF*. La portion entourée par le rayon réfléchi de *FH* fait donc son angle qui est au <point> *F* égal à l'angle *F* de la portion que nous avons déterminé[3]. Les deux portions sont donc égales, / leurs arcs sont égaux et leurs cordes sont égales. Pour la portion dont le
A-4[r] commencement est *F* dans la direction de *C*, son arc qui est de *F* à *C* est donc égal à l'arc *FH*. Mais l'arc *FH* est un sixième de cercle, donc l'arc *FC* est un sixième de cercle, donc la portion entourée par l'arc *FC* et la droite[4] /

[2] Le diamètre de la sphère dont le miroir est une partie.

[3] Il s'agit des angles d'une droite et d'un cercle.

[4] Ici s'arrête le copiste du manuscrit A, c'est-à-dire du texte d'al-Kindī, que nous complétons à partir de la compilation d'Aḥmad ibn ʿĪsā [Mss L, fol. 51[r] ; O, fol. 33[v] ; R, fol. 31[v]].



الشعاع الخارج من الشمس إلى جـ، وا جـ يقطع قطر المرآة – الذي هو ب د – على زوايا قائمة، فإذاً ح و يقطع خط ب د على زوايا قائمة. ونفرض حيث قاطعه علامة طـ. فإذاً خط و طـ مثل خط ح طـ، فإذاً خط ح و وتر السدس. والخطوط التي تقطع دائرة واحدة وتكون زوايا تلك القطع متساوية، تجعل القطع متساوية. والشعاع ينعكس على زوايا متساوية، فإذاً شعاع ح و ينعكس على خط يجعل زاوية قطعته مثل زاوية القطعة التي يحيط بها وتر و ح وقوس ح ب و. فإذاً القطعة التي يحيط بها الشعاع المنعكس من ح و – إذ تجعل زاويتها التي عند و مثل زاوية وَ – مثل القطعة التي حددنا. فإذاً القطعتان متساويتان / وقوساهما متساويتان ووتراهما متساويان. فإذاً القطعة التي مبتدؤها وَ إلى جهة جـ قوسها التي من وَ إلى جـ مساوية لقوس و ح. وقوس و ح سدس الدائرة، فقوس و جـ سدس الدائرة، فإذاً القطعة <التي> يحيط بها قوس و جـ وخط/ ا – ٤ – و

1 المرآة: الدائرة [ع] ونجد بخط آخر في هامش [ر] «صوابه الدائرة» – 2 ح و: خط ح و [ر، ل] – 3 ونفرض حيث قاطعه: عند [ر، ل] –4 ح و: ح ط و هو [ع] / ح و هو [ر، ل] / السدس: نجد بعدها «أيضًا» [ر، ل] – 7 التي: الذي [ع] / و ح: ح و [ر، ل] / وقوس ح ب و: أثبتها في الهامش [ر] – 7-8 وتر ... بها: مكررة [ل] – 8 ح و إذ: ح و ا ز [ا] خط ح و إذ [ر، ل] / وَ: علامة وَ [ر، ل] – 9 مثل: من [ا، ل، ع] / القطعتان: القطعتين [ر، ل] / متساويتان: متساويتين [ل] – 10 متساويتان: متساويتين [ل] / وَ: علامة وَ [ر، ل] – 11 و ح (الأولى والثانية): و جـ [ر] – 13 وخط: هنا يتوقف ناسخ [ا] عن الكتابة، ويمكن إكمال النص مما نقله أحمد بن عيسى في كتابه، انظر ص...، وسننقله هنا تيسيراً للقارىء.

Complément du texte à partir du livre d'Aḥmad ibn ʿĪsā

L-51r
R-31v
O-33v *CF* est la portion dont la corde est la droite *CF* qui est le rayon *HF* /
L-51v réfléchi de *F* en *C*, car les rayons se réfléchissent suivant des angles égaux comme nous l'avons montré. L'angle entouré par la droite *CF* et l'arc *FC* est donc égal à l'angle entouré par la droite *HF* et l'arc *FH*. On a donc montré que le rayon *HF* se réfléchit suivant *CF* et que le rayon *AC* se
R-32r réfléchit sur lui-même, puisque l'angle *ACF* / est égal à l'angle *ACG*. Le dernier des rayons qui se coupent est donc au milieu de la droite *CE*, au point *L*, puisque le réfléchi sur l'arc *CG* est comme le <rayon> réfléchi sur l'arc *CF*, par le même procédé que précédemment. Cependant le <rayon> réfléchi sur l'arc *FC* se réfléchit dans la direction de *G* et le <rayon> réfléchi sur l'arc *CG* se réfléchit dans la direction de *F*. Les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de *A* le feront donc au point *L*, et les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de *C* le feront au point *C*, je veux dire ceux qui ont coupé les rayons, tous les rayons différents du côté de *CF* dans la direction de *GC* et du côté de *GC*
L-52r dans la direction de *CF*. Par conséquent, la dernière / des positions <atteinte> par ces rayons, là où l'intersection est la plus dense, est le
R-32v milieu qui / est au point *L* ; c'est dans cette position qu'a lieu l'embrasement. Ce qu'il fallait démontrer.

تكملة النص من كتاب أحمد بن عيسى

ل - ٥١ - و
ر - ٣١ - ظ
ع - ٣٣ - ظ
ل - ٥١ - ظ

جـ و، هي التي وترها [الذي] هو خط جـ و <و>هو شعاع ح و <الذي>/ انعكس من و إلى جـ، لأن الشعاعات تنعكس على زوايا متساوية كما بينا. فالزاوية التي يحيط بها خط جـ و وقوس و جـ مساوية للزاوية التي يحيط بها خط ح و وقوس و ح. فقد تبين أن شعاع ح و ينعكس على جـ و، وأن شعاع ا جـ ينعكس على نفسه، لأن زاوية ا جـ و / مساوية لزاوية ا جـ ز. فإذاً آخر الشعاعات المتقاطعة يكون على نصف ر - ٣٢ - و خط جـ ه عند علامة ل، لأن المنعكس من قوس جـ ز مثل المنعكس من قوس جـ و بمثل التدبير الذي تقدّم. إلا أن المنعكس من قوس و جـ ينعكس إلى جهة ز والمنعكس من قوس جـ ز ينعكس إلى جهة و. فآخر شيء يتقاطع منها من جهة آ على نقطة ل وآخر شيء يتقاطع منها من جهة جـ على نقطة جـ، أعني ما قاطع الشعاعات، كل الشعاعات المختلفة، من جهة جـ و إلى جهة ز جـ ومن جهة ز جـ إلى جهة جـ و. فإذاً آخر / المواضع من هذه الشعاعات وأكثفه تقاطعًا <هو> الوسط ل - ٥٢ - و الذي / هو عند علامة ل. وفي ذلك الموضع يكون الإحراق؛ وذلك ما ر - ٣٢ - ظ أردنا أن نبينه.

1 هي: مكررة [ل] – 3 وقوس و جـ: أثبتها في الهامش [ر] – 4 ح و: جـ و [ر، ل] / و ح: و جـ [ر، ل] / ح و: ج و [ر] – 5 جـ و: جـ [ل] – 6 آخر: اكثر [ل، ع] – 10 شيء (الأولى والثانية): نجد في هامش [ر] بخط آخر «شعاع»، وهو المقصود / من جهة ... منها: ناقصة [ل] / ل: ه [ر] – 13 آخر: اكثر [ل، ع] / الوسط: الواسط [ع] – 14 هو: ناقصة [ع] / ما: ناقصة [ر] – 15 أن نبينه: ناقصة [ر، ل].

5. TEXTE ET TRADUCTION

Livre de Jacob Alkindi sur les causes des diversités de la perspective et sur les démonstrations géométriques qu'il faut en donner

Liber Jacob Alkindi de causis diversitatum aspectus et dandis demonstrationibus geometricis super eas

Édition mise à jour par H. Hugonnard-Roche
Traduction de J. Jolivet, H. Sinaceur et H. Hugonnard-Roche
Révision par R. Rashed

LIVRE DE JACOB ALKINDI SUR LES CAUSES DES DIVERSITÉS DE LA PERSPECTIVE ET SUR LES DÉMONSTRATIONS GÉOMÉTRIQUES QU'IL FAUT EN DONNER

Dans notre désir d'embrasser toutes les sciences mathématiques[1], d'expliquer les premiers résultats que les Anciens nous ont laissés à ce sujet, de développer ce qu'ils ont commencé et les points où il nous a été permis de récolter toutes les moissons de l'esprit, il nous faut traiter des diversités de la perspective[2], dans la mesure où nous le pourrons, universellement et démonstrativement. Il nous faut aussi établir, en partant des choses naturelles, les principes des propos que nous tiendrons à ce sujet, puisque la perspective qui fait percevoir diversement les objets particuliers est l'un des sens – pour autant que nous est clair comment sont perçus les objets visibles. En conséquence, les principes géométriques qui seront les principes de nos démonstrations géométriques passeront après les <principes> naturels, bien que par rapport à nous ils aient été premiers, pour éviter que les principes de nos démonstrations ne soient comme des relations qui ne seraient pas posées conformément à la nature – car dans ce cas nos propos seraient des fables et s'écarteraient de la voie de la démonstration.

C'est pourquoi, si celui à qui notre livre sera parvenu y trouve quelque chose qui lui fasse penser que nous n'en avons pas assez dit, nous le prions

---

[1] Le mot *doctrinalis* est le terme technique traditionnellement utilisé par les traducteurs de l'arabe au latin, et par Gérard de Crémone en particulier, pour traduire le mot arabe *ta'līmī* qui désigne la science mathématique ; cf. par exemple la traduction par Gérard du traité d'al-Fārābī *Iḥṣā' al-'ulūm* où l'on rencontre, dans le préambule, *de scientiis doctrinalibus* pour rendre *fī 'ilm al-ta'ālīm*, et *scientia stellarum doctrinalis* pour *'ilm al-nujūm al-ta'līmī* (Al-Farabi, *Catalogo de las ciencias*, éd. A. Gonzalez Palencia [Madrid-Granada, 1953], p.119) ; le titre du chapitre consacré aux mathématiques, *fī 'ilm al-ta'ālīm*, est traduit par *De scientia doctrinarum* (*ibid.*, p. 145).

[2] Le mot *aspectus* est le terme technique traditionnellement utilisé par les traducteurs médiévaux, et par Gérard en particulier, pour rendre le mot arabe *manẓar*. Par exemple, dans son traité *Iḥṣā' al-'ulūm*, al-Fārābī mentionne parmi les sciences mathématiques celle qu'il appelle *'ilm al-manāẓir*, expression que Gérard rend par *scientia aspectuum* (cf. éd. Gonzalez Palencia, *Catalogo de las ciencias*, p. 119, arabe p. 7). De même, au paragraphe de ce traité qui est consacré à l'optique, *scientia aspectuum* (p. 148, 151) sert à traduire *'ilm al-manāẓir* (arabe p. 61, 65). Dans l'adaptation du traité d'al-Fārābī composée par Gundissalinus, qui est connue sous le titre *De scientiis*, l'expression *'ilm al-manāẓir* a pour correspondant *scientia de aspectibus* (cf. Domingo Gundisalvo, *De scientiis*, éd. M. Alonso Alonso [Madrid-Granada, 1954], p. 54, 85, 93, etc.). Au moyen âge latin, c'est le terme technique *perspectiva* qui désigne la science de l'optique, d'où notre traduction par "perspective".

LIBER JACOB ALKINDI
DE CAVSIS DIVERSITATVM ASPECTVS ET DANDIS DEMONSTRATIONIBVS GEOMETRICIS SVPER EAS

Oportet, postquam optamus complere artes doctrinales, et exponere in eo quod Antiqui premiserunt nobis de eis, et augere quod inceperunt et in quibus fuerunt nobis occasiones adhipiscendi uniuersas bonitates animales, ut de diuersitatibus aspectus secundum nostre possibilitatis mensuram uniuersaliter et demonstratiue loquamur, et nostrorum sermonum de his principia ex rebus naturalibus ponamus, eo quod aspectus, quo singularia comprehenduntur diuersa, sit unus ex sensibus, quatinus nobis declaretur qualiter uisibilia comprehenduntur. Postea uero principia geometrica, que nobis erunt demonstrationum geometricarum principia, erunt a naturalibus secunda, licet quantum ad nos fuerint prima, ne nostrarum demonstrationum principia sint sicut relationes non naturaliter posite. Sic enim sermones nostri essent fabulosi, demonstrationis uiam egredientes.

Rogamus itaque illum ad quem hic noster liber peruenerit ut, si aliquid inuenerit per quod extimet nos minus dixisse in eo, toleret et

<Prooemium>

1-3 Liber ... geometricis super eas *P* : Liber ... geometricis *A* Incipit liber Alchindi philosophi de diuersitate aspectuum *J* 4 complere *PJ* : complexione *A* 5 premiserunt *PA* : presumserunt *J* 8 demonstratiue *PA* : demonstratione *J* 11 declaretur *PA* : declareretur *J* 18 toleret *PA* : tolleret *J*

de patentier et de ne pas se hâter d'en penser du mal avant d'avoir compris véritablement tous les traités qui ont été publiés sur toutes les <espèces de> quantités, car le nôtre se place à leur suite ; et qu'il supplée ce qu'à son avis nous avons omis, selon ce que réclameront les hommes de son époque. Car à chaque époque et en chaque lieu tous les hommes voient plus facilement de combien il faut abréger ou allonger, d'une façon plus conforme à leurs volontés. Notre volonté à nous, c'est de remercier ceux qui nous ont aidé par leurs bons conseils et ont été d'accord avec les résultats de nos efforts ; c'est d'être utile à qui nous pouvons, selon ce qui est avantageux à la nature humaine ; c'est de n'escompter ni les éloges ni une sauvage arrogance.

Quand nous voyons que les limites en étendue des ombres des corps sont rectilignes, et quand nous voyons les lumières qui entrent par des ouvertures, nous sommes nécessairement amenés à <conclure> que le trajet des rayons provenant des corps lumineux est rectiligne. Car ces deux <faits> ne seraient pas tels que nous les percevons si les rayons ne suivaient pas des lignes droites. En effet, nous voyons que les choses lumineuses sont les causes de l'éclairement des corps et de la projection des ombres de ces corps. Car, quand le soleil se trouve face à un corps, il l'éclaire, et l'ombre du corps est sur la surface d'un autre corps placé de l'autre côté par rapport au soleil. Les chandelles aussi produisent le même effet quand elles sont placées devant les corps. Nous voyons en effet que les rayons qui partent de chandelles placées devant nous sont les causes de l'éclairement des corps placés en face d'elles et de la projection des ombres de ces corps. Et les ombres de ces corps tantôt leur sont égales, tantôt sont plus grandes qu'eux, tantôt plus petites.

1

Nous voyons que les corps qui font des ombres auxquelles ils sont égaux sont égaux aux chandelles qui les éclairent, et que les limites des ombres de ces corps sont comprises entre des lignes <qui restent> parallèles[3], si loin qu'on les prolonge. En effet, <ces lignes> ne se rencontrent pas, et la largeur de l'ombre n'est ni diminuée, ni agrandie, ni augmentée, mais l'ombre, selon une même disposition, reste égale au corps <en largeur>, qu'elle soit prolongée ou raccourcie.

---

[3] Le mot *equidistans* est le terme technique utilisé par Gérard de Crémone pour traduire l'arabe *mutawāzin*, qui signifie "parallèle" : cf., notamment, de très nombreux exemples *passim* dans la traduction par Gérard de l'*Iṣlāḥ al-Majisṭī* de Jābir ibn Aflaḥ, publiée sous le titre *Gebri filii Affla Hispalensis de astronomia libri IX*, par P. Apian (Nuremberg 1534). Cf. aussi les traductions arabo-latines par Gérard du *De mensura circuli* d'Archimède et du traité des Banū Mūsā connu en latin sous le titre *Verba filiorum* dans M. Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. I, The Arabo-Latin tradition (Madison, 1964).

non festinet cogitare mala, donec omnes tractatus qui de omnibus quantitatibus editi sunt ueraciter intelligat – huius enim nostri libri ordo post illos consistit – et supleat quod nos minus dixisse extimat secundum quod homines sui temporis eo eguerint. Vniuersis namque hominibus cuiuslibet temporis et partis abbreuiandi et prolongandi mensura est facilior et eorum uoluntatibus magis conferens. Nostra autem uoluntas est nobis bene consulendo auxiliantibus et in quibus elaborauimus consentientibus grates agere, et cui possumus proficere secundum utilitatem humanam habentium naturam et non sperare laudem neque beluinnam arrogantiam.

Quod uero uidemus ex rectitudine finium umbrarum corporum in latitudine et luminibus per fenestras ingredientibus, necessario ducit nos ad hoc ut transitus radiorum procedentium a corporibus luminosis fiat secundum rectitudinem rectarum linearum. Nihil enim horum duorum esset secundum quod sentimus, nisi radii secundum rectarum linearum rectitudinem procederent. Nos namque uidemus res luminosas causas illuminandi corpora et iaciendi umbras illorum corporum existere. Sol enim, cum coram corpore paratur, illuminat ipsum et umbra corporis existit in facie corporis alterius oppositi parti solis. Candele quoque similiter faciunt, cum coram corporibus posite fuerint. Videmus enim radios procedentes a candelis, que coram nobis ponuntur, causas illuminandi corpora eis opposita et iaciendi illorum corporum umbras existere. Quorum quidem umbre quandoque corporibus existunt equales quandoque maiores quandoque eis minores.

< 1 >

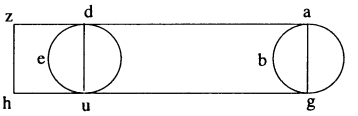
Videmus autem corpora que faciunt umbras eis equalia equari candelis ea illuminantibus, et horum quidem corporum fines umbrarum in latitudine equidistantium linearum, etsi ualde protendantur, existere. Non enim concurrunt, neque latitudo umbre minoratur neque dilatatur neque augetur, sed umbra existit ei equalis secundum unam habitudinem, siue protendatur aut abbreuietur.

21 et *PA* : *om. J* 22 eguerint *PJ* : egerunt *A* 34 procederent *PA* : procederint *J*
35 iaciendi *PJ* : iacendi *A* 40 iaciendi *PJ* : iacendi *A*

<1>

2 fines *PA* : facies *J* 4 enim *PA* : *om. J*

Soit, par exemple, un corps lumineux contenu dans le cercle *abg* ; un corps, sur lequel tombe la lumière, contenu dans le cercle *deu* ; et soit le diamètre *ag* égal au diamètre *du*.

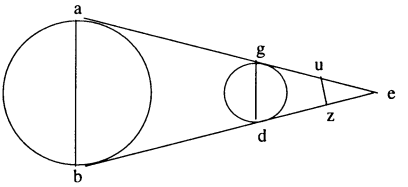


Nous percevons donc dans ce cas l'ombre entre les deux lignes parallèles *adz*, *guh*. En effet, nous constatons que les perpendiculaires qui tombent sur les deux lignes *dz*, *uh*, sont égales aux deux lignes *du*, *zh*. L'ombre est donc comprise entre l'arc *deu* et les lignes *dz*, *uh*. C'est ce que nous voulions démontrer.

2

Nous voyons, d'autre part, que les ombres sont plus petites que les corps quand les chandelles qui éclairent les corps sont plus grandes qu'eux. À mesure que se prolongent et s'allongent les ombres de ces corps, nous voyons les lignes qui les limitent réduire leur écart et se rapprocher, si bien qu'elles se rencontrent et que les ombres de ces corps prennent la forme d'un cône[4], les lignes qui limitent ces ombres n'étant pas parallèles.

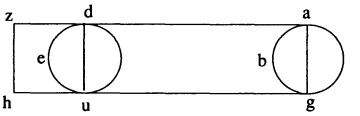
Soit, par exemple, un corps éclairant compris dans le cercle *ab*, et un corps, sur lequel tombe la lumière, compris dans le cercle *gd* ; et soit le diamètre *ab* plus grand que le diamètre *gd*.



Nous percevons donc dans ce cas l'ombre entre deux lignes non parallèles, telles que les deux lignes *gu*, *dz*, et nous trouvons que les deux angles *ugd* et *zdg* sont plus petits que deux droits. Si donc on prolonge d'un même côté les deux lignes *gu*, *dz*, il est impossible qu'elles ne se rencontrent pas : ainsi la rencontre des deux lignes *gue*, *dze*, se fait au point *e*. Si en outre on mène *uz* perpendiculaire à la ligne *de* au point *z*, on trouvera que l'angle *euz* est plus petit qu'un droit. Or l'angle *uze* est

[4] Les mots *pinealis figura* désignent le cône, comme le montre le contexte ; en d'autres lieux, Gérard utilise *piramis columpna* avec le même sens : cf., sous ces mots, l'index de Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. I.

Verbi gratia sit corpus luminosum contentum a circulo *abg*, et corpus, super quod cadit lumen, contentum a circulo *deu*, sitque diametrus *ag* diametro *du* equalis.

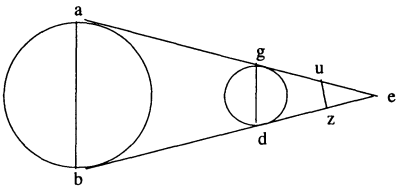


Sentimus itaque umbram apud hoc inter duas lineas equidistantes *adz guh*. Reperimus enim perpendiculares cadentes super duas lineas *dz uh* equales duabus lineis *du zh*. Est ergo quod continet umbram arcus *deu* et linee *dz uh*. Et hoc est quod demonstrare uoluimus.

< 2 >

Vmbras uero corporibus uidemus minores, cum candele illuminantes corpora sunt maiores corporibus. Quorum quidem corporum umbrarum, quantumcumque protendantur et elongentur, finium lineas constringi et approximare uidemus in latitudine, donec concurrant et fiant eorum umbre pinealis figure, quarum finales linee non sunt equidistantes.

Verbi gratia sit corpus illuminans quod continetur a circulo *ab*, et corpus, super quod cadit lumen, quod continetur a circulo *gd*, sitque diametrus *ab* maior diametro *gd*.



Sentimus ergo umbram apud hoc inter duas lineas non equidistantes sicut duas lineas *gu dz*. Et reperimus duos angulos *ugd* et *zdg* duobus rectis minores. Si ergo due linee *gu dz* protrahantur in parte una, impossibile est quin concurrant, sicut concursus duarum linearum *gue dze* existit super notam *e*. Quod si etiam perpendicularis *uz* super notam *z* linee *de* protrahatur, inuenietur angulus *euz* minor recto. Angulus uero

8 lumen *PJ* : lumine *A* 9 ag diametro *PA* : *om. J*

<2>

3 finium *PJ* : firmum *A* 4 uidemus *PA* : *mg. m. rec. J* 9 diametrus *PA* : diametro *J* 11 et *PA* : *om. J* 13 est *PJ* : *om. A* dze *PJ* : dez *A* 14 e *PA* : *iter. J* 15 protrahatur *PA* : protrahantur *J*

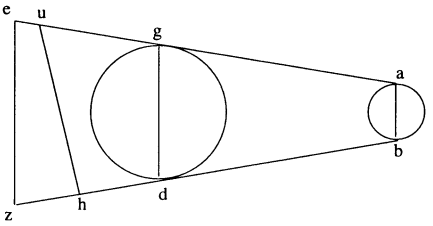
droit, puisque *uz* est perpendiculaire à la ligne *de*. Donc les deux angles *ezu*, *euz*, sont plus petits que deux droits. Quand donc on prolonge les deux lignes *dz*, *gu*, du côté de *uz*, elles se rencontrent nécessairement.

L'ombre est donc comprise entre l'arc *gd*, qui est du côté de *uz*, et les deux lignes *ge*, *de*. Par suite, l'ombre a la forme d'un cône, comme la figure *gde*. C'est ce que nous voulions démontrer.

3

Nous voyons aussi que les ombres sont plus grandes que les corps, quand les chandelles qui éclairent les corps sont plus petites qu'eux. Plus ces ombres se prolongent et s'allongent, plus s'élargit, s'agrandit et s'ouvre l'écart entre les lignes qui les limitent ; celles-ci ne sont <donc> pas parallèles.

Soit, par exemple, un corps éclairant compris dans le cercle *ab* ; un corps, sur lequel tombe la lumière, compris dans le cercle *gd* ; et soit le diamètre *ab* plus petit que le diamètre *gd*.



Nous percevons donc dans ce cas l'ombre entre deux lignes droites non parallèles ; pour cette raison, l'intervalle qui les sépare augmente d'autant plus que l'ombre s'allonge, comme <font> les deux lignes *ge*, *dz*.

Si, en effet, nous menons une perpendiculaire à la ligne *dz*, allant jusqu'à la ligne *ge*, par exemple la perpendiculaire tombant au point *h* de la ligne *dz* et au point *u* de la ligne *ge*, nous trouvons que l'angle *euh* est plus grand qu'un droit. Donc les deux angles *euh*, *zhu*, sont plus grands que deux droits. Donc la ligne *ez* est plus grande que la ligne *uh*. Et plus on prolongera les deux lignes *ge*, *dz*, plus grand sera l'intervalle qui les sépare. Et l'ombre sera comprise entre l'arc *gd* et les deux lignes *eg*, *zd*. Cela ne se produirait jamais si les rayons des chandelles ne suivaient pas des lignes droites. C'est ce que nous voulions démontrer.

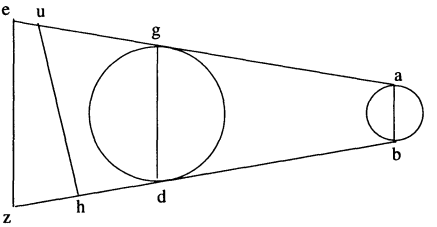
uze est rectus eo quod *uz* sit perpendicularis super lineam *de*. Duo ergo anguli *ezu euz* duobus rectis minores existunt. Cum ergo due linee *dz gu* ad partem *uz* protrahantur, necessario concurrent.

Quod ergo continet umbram est arcus *gd*, qui est a parte *uz*, et due linee *ge de*. Est itaque figura umbre pinealis sicut figura *gde*. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 3 >

Vmbras quoque corporibus maiores uidemus, cum candele corpora illuminantes sunt eis minores. Quarum quanto magis protenduntur et elongantur, dilatantur et ampliantur et separantur finium linee in latitudine et existunt non equidistantes.

Verbi gratia sit corpus illuminans quod a circulo *ab* continetur, et corpus, super quod cadit lumen, quod continetur a circulo *gd*, sitque diametrus *ab* minor diametro *gd*.



Sentimus igitur umbram apud hoc inter duas lineas rectas non equidistantes, quapropter quod est inter eas adauget interuallum, quanto magis elongatur umbra, sicut due linee *ge dz*.

Cum enim protraxerimus super lineam *dz* perpendicularem peruenientem ad lineam *ge*, quemadmodum perpendicularis cadens super notam *h* linee *dz* et notam *u* linee *ge*, inueniemus angulum *euh* recto maiorem. Duo igitur anguli *euh zhu* duobus rectis existunt maiores. Ergo linea *ez* est maior linea *uh*. Et quanto magis protracte fuerint due linee *ge dz*, augmentabit quod est inter eas interuallum. Et erit umbra quod continetur ab arcu *gd* et duabus lineis *eg zd*. Neque umquam accideret hoc, nisi radii candelarum secundum rectas procederent lineas. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

16 lineam *PA* : linea *J* 18 protrahantur *P* : protrahentur *AJ* 20 *post* de *add.* scilicet continent umbram *J* figura *PJ* : figure *A* 21 quod *PJ* : qua *A*

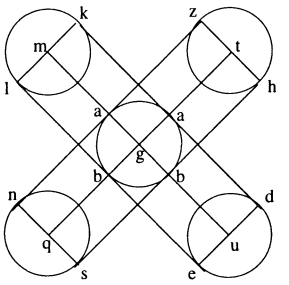
<3>

9 adauget *PA* : adaugetur *J* 10 elongatur *PA* : elongat *J* *post* linee *add.* sunt *J* 13 ge *PA* : gu *J* 15 protracte fuerint *PJ* : protente fuerit *A* 16 augmentabit *PA* : augmentabitur *J* quod *PJ* : quodque *A* interuallum *PJ* : internalium *A* 18 *post* rectas *add.* et *J*

4

En outre, quand un corps de forme cylindrique[5] est entouré de divers côtés par plusieurs chandelles, nous voyons des ombres se former selon le nombre des chandelles qui l'éclairent. Si, à partir du centre de chacune de ces <ombres>, on mène une ligne qui la coupe en deux moitiés et coupe le corps en deux moitiés, et si cette ligne est une ligne droite, elle parviendra à l'une des chandelles et la divisera en deux moitiés. Cela, assurément, ne se produirait en aucune façon si les rayons des chandelles ne suivaient pas des lignes droites.

Soit, par exemple, un corps, sur lequel tombe la lumière, compris dans le cercle *ab*, dont le centre est *g*. Soit aussi un des corps lumineux compris dans le cercle *de*, dont le centre est *u*. Soit encore un autre corps lumineux compris dans le cercle *zh*, dont le centre est *t*.



Nous percevons donc l'ombre opposée au corps *de* comme comprise entre les deux lignes *ak*, *bl*. Si donc nous divisons l'ombre *akbl* en deux moitiés par une ligne qui passe par le centre *g* et le centre *u*, <cette ligne> divisera chacun des deux corps *ab*, *de*, en deux moitiés[6], puisqu'elle passe par leurs centres, comme la ligne *mgu*.

De même encore la ligne *tgq* divise en deux moitiés l'ombre opposée au corps *zh*, qui est comprise entre les deux lignes *an*, *bs*, et elle divise en deux moitiés chacun des deux corps *ab*, *zh*, puisqu'elle passe par leurs centres. C'est ce que nous voulions démontrer.

---

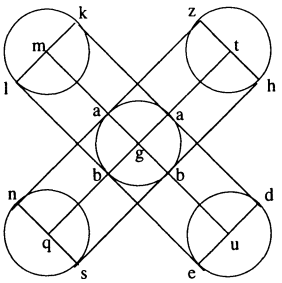
[5] Les mots *columpnea figura* désignent, chez Gérard de Crémone, la figure cylindrique ; dans sa traduction des *Verba filiorum*, on trouve aussi *columna* ou *columpna* pour désigner le cylindre : cf. Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. I (index).

[6] L'expression latine *in duo media et duo media* est très problablement un calque par Gérard de la tournure arabe *bi-nisfayn nisfayn*, où le redoublement de *nisfayn* a valeur distributive ; nous rendons cette valeur distributive, conservée dans le calque latin, par l'introduction de "chacun" dans la traduction : "chacun des deux corps ... en deux moitiés".

< 4 >

Vni preterea corpori columpnee figure, cum a pluribus circumdatum fuerit candelis in diuersis partibus, umbras secundum numerum candelarum ipsum illuminantium prouenire cernimus. A cuiusque quarum medio cum linea producta fuerit secans eam in duo media et secans corpus in duo media, et processerit secundum rectitudinem, perueniet ad unam candelarum et diuidet ipsam in duo media. Quod quidem nullo etiam contingeret modo, nisi radii candelarum secundum rectas procederent lineas.

Verbi gratia sit corpus, super quod cadit lumen, quod continetur a circulo *ab*, cuius centrum est *g*. Et sit unum corporum luminosorum quod continetur a circulo *de*, cuius centrum est *u*. Aliud quoque corpus luminosum sit quod continetur a circulo *zh*, cuius centrum est *t* .



Sentimus igitur umbram oppositam corpori *de* contineri a duabus lineis *ak bl*. Cum ergo diuiserimus umbram *akbl* in duo media cum linea transeunte per centrum *g* et centrum *u*, diuidet duo corpora *ab de* in duo media et duo media, quia transit per ipsorum centra, sicut linea *mgu*.

Similiter quoque umbram oppositam corpori *zh*, que continetur a duabus lineis *an bs*, diuidit linea *tgq* in duo media, et diuidit unumquodque duorum corporum *ab zh* in duo media, eo quod per eorum centra transeat. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

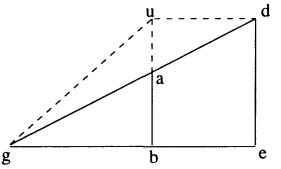
<4>

1 uni *PJ* : cum *A* 12 continetur *PJ* : contineatur *A* 13 umbram *PJ* : umbra *A*
15 diuidet *PJ* : diuidit *A* 16 et duo media *PA* : *om. J* centra *PJ* : centrum *A*
18 oppositam *PJ* : opposita *A* 21 est *PJ* : *om. A*

5

Nous voyons aussi que, si les chandelles sont situées plus haut dans l'air que les sommets des corps <qu'elles éclairent>, le rapport <de la longueur> de l'ombre à la hauteur du corps <éclairé> est égal au rapport à la chandelle elle-même de tout le segment qui joint l'extrémité de l'ombre à la base de la chandelle. Cela encore ne se produirait nullement si les rayons des chandelles ne suivaient pas des lignes droites.

Soit, par exemple, en *ab* un corps sur lequel tombe la lumière ; soit le point *g* l'extrémité de son ombre ; et soit *de* le corps éclairant.



Nous trouvons donc que le rapport de *bg* à *ba* est égal au rappot de *eg* à *de*. D'autre part, le rayon mené du point *d* au point *a* tombe à l'endroit *g*. Et puisque *ab* et *de* sont perpendiculaires <à *ge*>, elles sont donc parallèles. Donc la ligne *dag* est droite.

En effet, si elle ne l'était pas, les deux lignes *da*, *ag*, formeraient un angle en se rencontrant en *a*. Soit donc la ligne *dug* droite. Le triangle *duge* est donc divisé par une ligne parallèle à *de*, qui est la ligne *ub*. Donc le triangle *bug* est semblable au triangle *dge*. Donc le rapport de *ub* à *bg* est égal au rapport de *de* à *eg*. Mais on a déjà démontré que le rapport de *ab* à *bg* est égal au rapport de *de* à *eg*. Or des choses égales à une même chose sont égales. Donc le rapport de *ub* à *bg* est égal au rapport de *ab* à *bg*. Donc le rapport de *ub*, qui est plus grand, à *bg*, est le même que le rapport de *ab*, qui est plus petit, à *bg*. Donc *ub*, qui est plus grand, est égal à *ab*, qui est plus petit. Ce qui est contradictoire et impossible.

Il est donc impossible que <la ligne> *dag* ne soit pas droite. C'est ce que nous voulions démontrer.

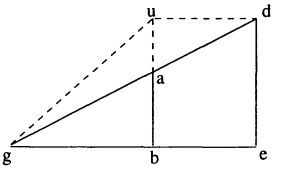
6

Nous verrons encore cela de manière plus évidente et plus claire, si nous prenons une planche percée à la scie en son milieu, <d'une ouverture>

< 5 >

Videmus etiam umbrarum corporum, quorum loca candelarum in aere eorum capitibus sunt altiora, proportionem ad altitudinem corporum sicut est proportio longitudinis extremitatum umbrarum cum eo quod ei continuatur ab inferiori parte candelarum ad ipsas candelas. Quod etiam nullo contingeret modo nisi candelarum radii secundum rectas protenderentur lineas.

Verbi gratia sit corpus, super quod cadit lumen, in loco *ab*, sitque umbre ipsius extremitas nota *g*, et sit corpus illuminans *de*.



Reperimus igitur proportionem *bg* ad *ba* sicut proportio *eg* ad *de*. Radius quoque a nota *d* protensus ad notam *a* cadit in loco *g*. Et quia *ab* et *de* sunt perpendiculares, ergo sunt equidistantes. Linea igitur *dag* est recta.

Si enim recta non fuerit, tunc coniunctio duarum linearum *da ag* supra *a* fit secundum angulum. Sit ergo recta linea *dug*. Triangulus igitur *duge* est diuisus linea equidistante *de*, que est linea *ub*. Ergo triangulus *bug* est similis triangulo *dge*. Proportio igitur *ub* ad *bg* equalis est proportioni *de* ad *eg*. Iam uero fuerit demonstratum quod proportio *ab* ad *bg* est sicut proportio *de* ad *eg*. Sed uni rei equalia sunt equalia. Ergo proportio *ub* ad *bg* est sicut proportio *ab* ad *bg*. Proportio igitur *ub* maioris et *ab* minoris ad *bg* est una. Ergo *ub* maior est equalis *ab* minori. Quod quidem contrarium est et impossibile.

Impossibile est igitur ut *dag* sit non recta. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 6 >

Hoc quoque manifestius et clarius uidebimus, si tabulam assumpserimus in medio cum serra directe et equaliter perforatam, et occurrerimus

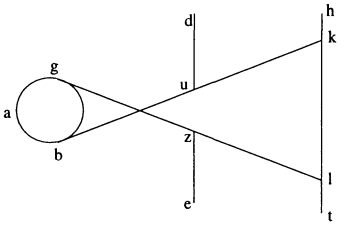
<5>

1 in aere *PJ* : manere *A* 9 igitur *PA* : ergo *J* 14 fit *PA* : sit *J* 15 duge *P* : dneg *A* duga *J* 22 est igitur *PA* : igitur est *J* sit *PA* : fit *J* 22-23 quod demonstrare uoluimus *PJ* : *m. rec. A*

droite[7] et régulière[8] ; si nous mettons ensuite en vis-à-vis le milieu de l'ouverture pratiquée à la scie et le milieu d'une chandelle, de façon que la ligne menée à partir de la chandelle coupe orthogonalement le diamètre de la chandelle et l'ouverture pratiquée à la scie ; et si nous plaçons enfin, en face de la planche où est l'ouverture, une autre planche dont la surface, qui fait face à la <planche percée>, soit parallèle à la surface de la <planche percée> qui lui fait face.

Si alors, en partant du bord de la lumière qui tombe par l'ouverture de la planche sur l'autre planche parallèle à la <première>, on mène une ligne droite joignant l'un des deux côtés <de la lumière>, en largeur, au bord de la chandelle, du côté opposé en largeur, <cette ligne> touchera le bord de l'ouverture pratiquée dans la planche. Cela, assurément, ne se produirait pas si les limites des rayons ne suivaient pas des lignes droites.

Soit, par exemple, le cercle *abg* la chandelle ; soit la planche *de* la planche perforée ; et soit l'espace *uz* l'ouverture. Soit encore *ht* la planche sur laquelle tombe la lumière, et soit l'espace *kl* la portion de cette planche sur laquelle tombe la lumière.



Si donc on mène une ligne du point *k* au point *u*, et qu'on la prolonge en ligne droite, elle arrivera au point *b* de la chandelle, qui est du côté opposé à *u*. Et si l'on mène une ligne du point *l* jusqu'à *z*, et qu'on la prolonge en ligne droite, elle arrivera au point *g* de la chandelle, qui est du côté opposé à *z*.

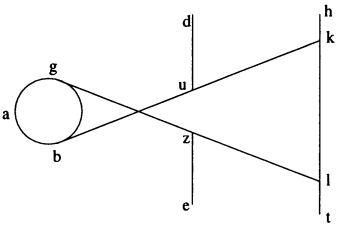
[7] Le mot latin *directe*, qui est rendu par "(ouverture) droite", nous paraît se rapporter au fait que la scie doit être tenue orthogonalement à la surface de la planche.

[8] Le mot latin *equaliter* sert, selon toute vraisemblance, à caractériser la forme de l'ouverture qui doit être régulière. Dans les textes astronomiques, Gérard traduit généralement par *equalis* le mot arabe *mustawin*, qui sert à qualifier un mouvement de "régulier" : cf. la traduction du traité de Jābir ibn Aflaḥ (éd. cit. n. 3), *passim*.

deinde cum medio foraminis serrati medio candele, donec sit linea, que protrahitur a candela, secans diametrum candele et foramen serratum orthogonaliter, et post occurramus tabule, in qua est foramen, cum alia tabula, cuius superficies, que ei occurrit, equidistet superficiei eius que ipsi occurrit.

Si ergo ab extremitate luminis, quod cadit per foramen tabule super tabulam aliam ei equidistantem, in latitudine protrahatur ab una duarum partium ad finem candele in latitudine in parte altera linea recta, continget extremitatem foraminis quod est in tabula. Quod quidem non esset nisi radiorum fines secundum rectas procederent lineas.

Verbi gratia sit candela circulus *abg*, et sit tabula perforata tabula *de*, sitque foramen spatium *uz*. Tabula quoque, super quam cadit lumen, sit *ht* et pars eius, super quam cadit lumen, sit spatium *kl*.



Cum ergo protrahetur linea a nota *k* ad notam *u*, et producetur recte, perueniet ad notam candele que est *b*, que est e contrario partis *u*. Et cum produxerimus a nota *l* lineam ad *z*, et protendetur recte, perueniet ad notam candele *g*, que est e contrario partis *z*.

<6>

6-7 que ipsi *PJ* : quo ei *A* 8-9 per ... latitudine *PA* : *mg. m. rec. J* 9 ei *PJ* : *om. A* 11 continget *PA* : contingeret *J* 20 *post* z *add.* et hoc est quod demonstrare uoluimus *J*

7

Après avoir montré[9] par des <preuves> sensibles que tous les rayons suivent des lignes droites, il nous faut expliquer comment l'œil reçoit les sensibles qui lui sont propres.

Je dis donc qu'il est impossible que l'œil ne reçoive pas ses sensibles <soit> par le moyen des formes de ses sensibles qui lui parviennent et se dirigent vers lui, comme l'ont pensé la plupart des Anciens, – <formes> qui s'inscrivent en lui ; soit <du fait> qu'une puissance[10] émane de lui vers ses sensibles, grâce à laquelle il les reçoit ; soit de ces deux façons à la fois ; soit <du fait> que les formes de ces <sensibles> sont inscrites et imprimées dans l'air et que l'air les inscrit et imprime dans l'œil, l'œil s'en emparant par sa faculté de recevoir ce que l'air imprime en lui par la médiation de la lumière.

Si donc les formes des sensibles se propageaient de manière à parvenir à l'œil et à s'inscrire en lui ; ou si les deux causes existaient ensemble, c'est-à-dire si chacune d'elles concourait à égalité avec l'autre ; ou si les sensibles imprimaient et inscrivaient leurs formes dans l'air – il faudrait <dans ces trois cas> que des cercles, qui se trouvent dans le même plan que la pupille[11], se propagent et se dirigent vers elle, et qu'ils soient vus tels qu'ils sont selon leur être propre.

Mais ce n'est pas ce que l'on constate. Bien au contraire, quand les cercles et la pupille sont dans un même plan, les cercles ne sont vus en aucune façon. Il reste donc seulement qu'une puissance part de la pupille vers les choses qui sont vues, puissance par laquelle elle les reçoit. Comme, en effet, cette puissance se propage et s'imprime dans l'air selon des lignes droites, si la pupille et les cercles sont dans un même plan, elle ne pénètre pas dans les cercles. Donc les cercles ne sont pas perçus.

8

Bien des hommes, il est vrai, voyant que les rayons transportent avec eux les couleurs des corps et les déposent aux limites de ces corps, ont pensé que le sens ne reçoit les formes des choses que parce que ces formes se déplacent jusqu'à lui. Pour eux, en effet, les formes ne sont que les limites des couleurs. C'est pourquoi ils ont jugé que les formes se déplacent vers la pupille.

---

[9] Le mot latin *declarare* est couramment employé par Gérard, avec le sens de "montrer" ou "démontrer", pour traduire l'arabe *bayyana*, dans sa version de l'œuvre de Jābir ibn Aflaḥ.

[10] Le mot latin *virtus*, traduction probable de l'arabe *quwwa*, couvre un large champ de signification dans le texte de Gérard, et il sera traduit, selon le contexte, parfois par "puissance", parfois par "faculté".

[11] *Aspiciens* dans le latin ; Gérard, qui n'est pas un spécialiste de l'optique, traduit l'arabe *nāẓir* selon son sens le plus courant ; mais ici, et le plus souvent dans cet ouvrage, ce mot signifie "pupille" (*pupilla*).

< 7 >

Postquam igitur iam sensibiliter est declaratum quod omnes radii secundum rectas egrediuntur lineas, oportet ut qualiter oculus sua recipiat sensibilia enucleemus.

Dico igitur impossibile esse quin oculus sua recipiat sensibilia peruenientibus et currentibus suorum sensibilium formis ad eum, quemadmodum plures Antiquorum extimauerunt, et sigillentur in eo, aut ab eo procedat uirtus ad sua sensibilia, cum qua ea recipiat, aut hec duo sint simul, aut eorum forme sint sigillate in aere et impresse, et aer sigillet eas et imprimat in oculo, quas oculus comprehendit uirtute sua receptibili eius, quod aer in eo impressit lumine mediante.

Si ergo sensibilium forme procederent, donec ad oculum peruenirent et sigillarentur in eo, aut due cause essent simul, queque uidelicet earum ad suam comparem curreret, aut sensibilia suas formas imprimerent in aere et sigillarent, oporteret ut circuli, qui cum aspiciente in una consistunt superficie, procederent et currerent ad aspicientem, et uiderentur quemadmodum sunt secundum suum esse.

Sed non apparet ita. Immo cum circuli et aspiciens in una consistunt superficie, circuli nullo modo uidentur. Non ergo restat nisi ut ab aspiciente ad res que aspiciuntur procedat uirtus qua eas recipiat. Virtus enim illa cum procedit et in aere impressionem facit secundum rectas lineas, si aspiciens et circuli in una consistunt superficie, non ingreditur circulos. Circuli igitur non sentiuntur.

< 8 >

Plures uero hominum, quia uidebant radios corporum colores secum defferre et apud eorum fines deponere, sensum non recipere rerum figuras, nisi per cursum earum ad ipsum, extimauerunt. Figure enim apud eos non sunt nisi colorum fines. Quapropter putauerunt figuras ad aspicientem currere.

<7>

1 postquam ... : *gloss.* Visio quomodo fiat *add. s. l. m. rec. A* 2 *post* oportet *add.* hic *A* 19 qua *PA* : quas *J* 21-22 non ingreditur circulos *PJ* : *ante* non *add.* uel non uidentur circuli *A gloss.* uel non uidentur circuli *mg. hab. P*

<8>

1 plures *PJ* : quamplures *A gloss.* Hic conatur ostendere uisionem fieri per extramissionem *add. mg m. rec. A* 2 defferre *P* : deferre *J* differre *A* 3 extimauerunt *PA* : extimauerint *J* 4 putauerunt *PA* : potauerunt *J*

Mais le déplacement des formes jusqu'au lieu où elles parviennent n'est pas la cause du mouvement local des couleurs dans l'air. Car s'il en était ainsi, le verre, ou une pierre à la fois compacte et transparente[12], ne resterait pas rouge, ou d'une autre couleur, quand elle serait placée dans des lieux <éclairés>[13], si ce n'est pour un court moment, le temps que sa couleur soit épuisée.

Mais la véritable cause, c'est qu'il est dans la nature des corps lumineux de transformer[14] l'air, qui est devant eux, en lui donnant une couleur semblable à la leur. C'est ainsi qu'il est dans la nature des corps rouges ou d'autre couleur, quand ils sont éclairés, de transformer l'air en lui donnant une couleur semblable à la leur.

Voici qui confirme ce que nous avons dit touchant le fait que la vue[15] ne saisit son sensible propre que par une puissance qui émane d'elle et qui transforme l'air selon des lignes droites – lorsque entre elle et son sensible la médiation de la lumière s'exerce – par une forte transformation qui ne s'écarte pas de la rectilinéarité de la vue, en quelque endroit que ce soit : en effet, la vue perçoit bien ce sur quoi tombe cette partie de l'air transformée par la puissance de la vue, puisque bon nombre de ceux dont la vue est faible voient devant eux leur propre image, c'est-à-dire eux-mêmes. La cause en est que, la puissance qui émane de la vue étant trop faible pour pénétrer dans l'air, celui-ci la renvoie au corps de l'homme qui regarde. Elle revient donc à son propre corps et sa vue perçoit sa propre personne, de même qu'elle perçoit les objets divers[16] vers lesquels elle est dirigée avec l'impression de la puissance émanant de sa propre vision.

---

[12] Le rapprochement de *vitrum* et de *lapis*, comme deux exemples destinés à soutenir le contre-argument d'al-Kindī, suggère que le mot latin *claritas* utilisé par Gérard pour qualifier la pierre en question désigne sa transparence, et non point seulement sa clarté. Selon la réfutation d'al-Kindī, en effet, on serait conduit à admettre que les corps transparents perdraient rapidement leur couleur, si l'on admettait la thèse que le déplacement des formes entraîne celui des couleurs.

[13] L'épuisement supposé de la couleur des corps transparents, du fait du transport des formes par des rayons lumineux, n'est évidemment concevable que si ces corps sont éclairés (cf. d'ailleurs, dans le paragraphe qui suit, l'explication adoptée par al-Kindī, où les corps sont dits être éclairés) : nous ajoutons donc "éclairés" dans notre traduction, le latin nous paraissant incomplet.

[14] Dans le texte de Gérard de Crémone, le mot latin *conversio* a deux sens techniques distincts : il signifie, d'une part, l'action exercée par un corps lumineux, ou par la vue, sur l'air environnant, et nous le traduisons alors par "transformation" ; il signifie, d'autre part, la réflexion des rayons lumineux, et nous le traduisons dans ce cas par "réflexion".

[15] Le mot *visus* couvre, dans la traduction de Gérard de Crémone, un large champ sémantique : il peut se rapporter à l'organe de la vue, en tant qu'il perçoit les sensibles correspondants, ou à l'action de cet organe effectuée par l'intermédiaire de la puissance (*virtus*) qui en émane, ou encore à la réception du sensible par l'organe visuel. Nous l'avons le plus souvent traduit par "vue", parfois par "vision".

[16] Le mot latin *singularia*, dans le texte latin de Gérard, a le plus souvent une valeur distributive ; nous le rendrons généralement par "divers".

Non autem earum cursus ad locum, ad quem perueniunt, localis motus colorum in aere causa existit. Si hoc enim ita esset, non remaneret uitrum aut lapis cum spissitudine claritatem habens rubeus aut alterius coloris, cum in locis poneretur, nisi paruo tempore, donec eius finiretur color.

Verum eius causa est quoniam corpora luminosa, cum obuiant aeri, sua natura tribuunt ei cum conuersione colorem sibi similem. Similiter quoque corpora rubea et alia, cum illuminantur, sua natura dant aeri cum conuersione colorem suis coloribus similem.

Verificatur autem quod diximus de hoc quod uisus suum sensibile non comprehendit nisi uirtute ab ipso procedente et conuertente aerem secundum rectas lineas, quando inter ipsum et suum sensibile lumen medium interuenerit, conuersione firma a uisus rectitudine non separata, ubicumque fuerit, quia uisus sentit illud tunc super quod illa pars aeris conuersa a uirtute uisus cadit, quoniam plures eorum, quorum uisus debilitatur, suam ymaginem coram se uident, scilicet personam suam. Cuius quidem causa existit quoniam uirtus a uisu procedens, cum propter debilitatem in aere penetrare non possit, redire eam facit aer ad corpus hominis aspicientis. Peruenit igitur ad suum singulare et uisus eius comprehendit singulare sui ipsius, quemadmodum singularia comprehendit, ad que dirigitur cum impressione uirtutis que ab ipsius uisu procedit.

20 uisus *PJ* : uisum *A* 21 debilitatur *PJ* : debilitantur *A* uident *AJ* : uidet *P*
24 peruenit *PA* : prouenit *J*

9

Parmi les <faits> encore qui confirment ce que nous avons dit, il y a celui-ci : il se peut que quelqu'un, regardant des choses exposées à sa vue, un livre par exemple, cherche à en voir une lettre et ne la saisisse qu'au bout de quelque temps. La cause en est que la ligne droite selon laquelle la puissance de la vue, qui s'imprime, ne tombe pas sur ce qu'elle cherche : en effet, après qu'elle est tombée dessus, elle le saisit aussitôt.

Si la cause de la réception des sensibles n'était que le déplacement des formes des choses vers la vue, il adviendrait que les choses qui sont proches de la vue, à la distance d'une palme ou d'une coudée, sans l'obstacle de corps <situés> entre elles et la vue, parviendraient plus distinctement à la vue que ce qui en est distant de <tout> l'espace qui est entre nous et la sphère des étoiles fixes.

Si <cette> réception se faisait de toute façon sans qu'on le veuille, il adviendrait que toutes les choses exposées à la vue, sans l'obstacle de corps <situés> entre elles et la vue, seraient perçues aussitôt par la médiation de l'air et de la lumière. Chacune, en effet, se présenterait d'elle-même à la vue. Mais nous ne connaissons rien de tel. Nous ne saisissons, en effet, les choses que l'une après l'autre, et ce qui tombe en ligne droite directement sous le sens est plus distinct pour lui. Ce qui s'éloigne <de cette ligne> apparaît plus faiblement au sens, et se dérobe d'autant plus qu'il est plus éloigné du centre <de la vision déterminé par> cette ligne droite, jusqu'à ne plus être saisi.

Voici <un fait> qui le montre : si nous fixons une lettre d'un livre sans en détourner nos yeux, elle nous apparaîtra, et nous verrons qu'elle nous dérobe ce qui la suit ; plus on s'éloignera d'elle, plus sévère sera cette occultation, jusqu'à ce que de toutes les lettres n'apparaisse plus que du noir sur du blanc. Mais il est impossible et contraire à l'expérience que nous puissions poursuivre, dans ces conditions, la lecture d'un livre.

La raison en est que, plus la puissance émanant de la vue s'éloigne du centre de la chose regardée, plus son impression dans l'air s'estompe, jusqu'à cesser au-delà d'un certain écart. Mais plus elle s'éloigne de celui qui voit, plus elle s'étend selon des lignes <qui s'éloignent> également de l'axe[17] joignant celui qui voit à la chose vue. Et l'air qu'elle peut transformer, et dans lequel se produit l'impression, prend la figure d'un cône dont le sommet est situé à la pupille d'où émane la puissance, et dont la base est sur la chose vue.

---

[17] Le mot *meguar* est la transposition latine du mot arabe *miḥwar*, signifiant "axe". Cette transposition est habituelle dans les traductions de Gérard de Crémone : voir, par exemple, sa traduction des *Verba filiorum* des Banū Mūsā (Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. I, p. 336), et sa traduction de traité de Jābir ibn Aflaḥ (cit. n. 3), *passim*. La glose *id est axe*, qui figure dans les manuscrits *P* et *A*, pourrait remonter à l'un des *socii* de Gérard, ou à l'un de ses tout premiers lecteurs.

< 9 >

Ex eis etiam que id quod diximus uerificant est quod aspiciens res uisui suo expositas, sicut librum, fortasse inquirit eius litteram, quam non comprehendit nisi post tempus. Cuius causa existit quod rectitudo uirtutis uisus imprimentis non cadit super id quod querit, quia postquam super ipsum ceciderit, statim ipsum comprehendit.

Quod si receptionis sensibilium causa non foret nisi cursus formarum rerum ad uisum, contingeret quod res que uisui appropinquant per mensuram unius palmi aut cubiti, obstaculo corporum inter ipsas et eum non interueniente, manifestius currerent ad eum quam ea inter que et ipsum existit spatium quod est inter nos et orbem stellarum fixarum.

Quod si receptio fieret omnibus modis absque inquisitione, contingeret quod omnes res que uisui exponuntur, non interueniente inter ipsum et eas corporum obstaculo, aere et lumine inter ea mediantibus sentirentur illico. Vnaqueque enim earum per se ipsam ad eum curreret.

Nos autem hoc non taliter reperimus. Non enim comprehendimus res nisi unam post unam, sensuique manifestius existit quod sub eius rectitudine directe cadit. Quod autem ab eo elongatur secundum sensum debilitatur, et quanto magis elongatur a centro rectitudinis eius, occultatur donec non comprehendatur.

Huius autem demonstrator est quod, cum tenderimus ad litteram libri et non remouerimus oculos nostros ab ea, apparebit nobis et uidebimus illud, quod eam sequitur, ab ea occultari, et quanto plus elongabitur ab ea, uehementius occultabitur, donec ex omnibus litteris non appareat nisi nigredo in albedine. Sed ut nos cum eo libri lectionem consequi possimus, impossibile est et non repertum.

Et hoc est quod uirtus a uisu procedens, quanto magis a centro rei que aspicitur elongatur, eius impressio in aere magis occultatur, donec in latitudine finiatur. A uidente autem quanto magis ipsa elongatur, tanto plus dilatatur secundum equales lineas a meguar egrediente a uidente ad rem que aspicitur. Et fit aer, super cuius conuersionem potuit et in quo fit impressio, figure pinealis, cuius extremitas acuta existit apud aspicientem et uirtutis processionem, inferior uero, que lata est, apud rem que cernitur consistit.

<9>

7 appropinquant *PA* : appropinquat *J* 9 currerent *PJ* : concurreret *A* 23 occultari *PJ* : occultator *A* 25-26 sed ... impossibile *PA* : *mg. m. rec. J* 25 libri *PJ* : liberi *A* lectionem *PA* : lectionum *J* 29 a uidente *PA* : audiente *J* 30 tanto plus *AJ* : *mg m. pr. P* meguar *PAJ* : *gloss.* id est axe *add. mg. m. pr. P s. l. m. pr. A* 33 uero *PA* : *om. J* 34 cernitur *PA* : concurritur *J*

10

Parmi les <faits> qui vont aussi dans le sens de ce que nous avons dit, à savoir que la saisie des sensibles par la vue se fait par une puissance émanant d'elle, il y a ceci que Dieu – grande est sa louange – a créé tout ce qui a été fait selon la plus grande perfection et la plus grande convenance.

Il a donc disposé les organes des sens selon la grandeur des sensibles qui leur correspondent. Il a donc fait <l'organe de> l'odorat de telle sorte qu'y aboutisse le trajet du composant[18] extrêmement[19] subtil, qui porte <le sensible correspondant>. Il a fait <l'organe de> l'ouïe concave en haut et étroit en bas, parce que le son n'est autre chose qu'une percussion de l'air, et l'air dans son déplacement frappe l'organe de l'ouïe. Il a créé aussi de la même façon <l'organe du> goût. Quant à l'organe de la vision, il l'a fait sphérique, pour que ce qui vient à lui ne s'attarde pas à sa surface. Les centres de tous les <autres> sens, il en a fait des lieux d'arrêt, en sorte que ce qui y parvient y demeure. Mais l'organe de la vue, il l'a créé mobile, de façon qu'il reçoive[20] ce qu'il veut en lui faisant face et en se tournant vers lui de son propre mouvement. C'est pourquoi, quand nous voulons recevoir par notre vue une chose quelconque, nous tournons nos yeux vers elle. Si nous ne le faisons pas, nous ne la percevons pas. En revanche, les odeurs et les sons parviennent à notre ouïe et à notre odorat, que nous nous en écartions ou que nous nous en rapprochions.

11

Parmi les Anciens, certains ont pensé que plusieurs rayons partent de la pupille en suivant des lignes droites entre lesquelles il y a des intervalles.

Mais de cette opinion résulte une absurdité ; car, pour celui qui a émis cette opinion et pour d'autres <auteurs> qui sont habiles en mathématiques, la définition de la ligne est celle-ci : grandeur ayant une seule dimension, à savoir la longueur, sans largeur. Or un rayon est l'impression de corps lumineux sur des corps obscurs, <impression> dont le nom

---

[18] La forme latine *partis* est probablement à interpréter ici comme une traduction inexacte du mot arabe *juz'*, dont l'acception, dans le présent contexte, est "constituant" ou "composant", et non point "partie".

[19] Les mots *in fine de* (*subtili*) sont vraisemblablement la traduction littérale par Gérard d'une tournure arabe telle que *fī al-ghāyati min*, ou *fī al-nihāyati min*, servant à exprimer le superlatif.

[20] Le terme *reciperet* ne rend pas la doctrine de la vision adoptée par al-Kindī : voir ci-dessus chapitre II.

< 10 >

Eorum uero, que etiam significant simile ei quod diximus, uidelicet quod comprehensio sensibilium a uisu fit uirtute ab ipso procedente, est quoniam deus, cuius magna est fama, omnia condidit que facta sunt secundum quod perfectius et conuenientius fuit.

Preparauit ergo instrumenta sensuum secundum quantitatem suorum sensibilium. Fecit ergo odoratum ut ad ipsum fieret cursus in fine de subtili partis que ipsum defert. Et fecit auditus supremum concauum et infimum strictum, quoniam uox non est nisi aeris percussio, et aer currens impellit instrumentum auditus. Gustum quoque similiter condidit. Visus uero instrumentum fecit spericum, ne ad ipsum currentia supra ipsum morarentur. Omnium autem sensuum centra morantia fecit, ut ad ea currentia apud ea starent. Visus uero instrumentum mobile constituit ut quod uellet reciperet obuiando illi et inclinando se ad ipsum suo motu. Quare cum rem aliquam uisu nostro recipere uolumus, oculos nostros ad ipsam reuoluimus. Quod si non, minime eam comprehendimus. Ad auditum uero nostrum et olfatum odores et uoces perueniunt, siue ab eis recedamus, siue ad ea accedamus.

< 11 >

Antiquorum autem quidam estimauerunt quod radii plures egrediuntur ab aspiciente secundum rectas lineas inter quas existunt interualla.

Quem quidem sermonem inconueniens sequitur, quod est quia linee diffinitio apud eum qui hunc protulit sermonem, et apud alios qui in doctrinalibus sunt subtiles, est magnitudo habens dimensionem unam, longitudinem uidelicet sine latitudine. Radius uero est impressio corporum luminosorum in corporibus obscuris, a lumine nominis

<10>

3 *post* condidit *add.* opera *J* 4 quod perfectius *PA* : perfectius quod *J* 7 ipsum *correxi* : ipsam *PAJ* defert *PAJ* : *gloss.* id est in qua est *add. mg. m. pr. P* 8 infimum *P* : infinitum *A* infinium *J* 12 ad *iter. J* 16 olfatum *PA* : olofactum *J* 17 ea *iter. J*

<11>

1 plures *PA* : *mg. m. rec. J* 7 lumine nominis *PA* : luminis nomine *J*

est dérivé de celui de la lumière[21] en raison de la transformation des accidents conférés aux corps qui reçoivent cette impression. Donc l'impression, avec ce dans quoi est l'impression, tout cela ensemble est un rayon. Or le rayon qui produit l'impression est un corps qui a trois dimensions : longueur, largeur, profondeur. Donc le rayon ne suit pas des lignes droites entre lesquelles il y aurait des intervalles. S'il suivait en effet des lignes droites séparées par des intervalles, tout rayon serait privé de largeur, puisque la ligne est privée de largeur. Mais ce qui est privé de largeur n'est pas perçu, et tout ce qui est perçu est vu en même temps avec la largeur de son étendue. En effet, tout ce qui est perçu a une largeur ou est transmis par ce qui a une largeur. Mais une ligne n'a pas de largeur. Donc une ligne n'est pas vue, ni ce qui est transmis par une ligne, si quelque chose est transmis par elle.

Donc le rayon n'est pas vu, et le rayon est vu. Cela est contradictoire, impossible, absurde et monstreux.

En outre, puisque la ligne, selon celui qui a tenu ce propos, est, comme nous l'avons dit, une grandeur ayant une seule dimension, c'est-à-dire une longueur, sans largeur, dont les extrémités sont deux points auxquels elle se termine, et dont aucun n'a de parties ; et <puisque cet auteur> avait dit, dans son traité sur la perspective[22], que ce qui est saisi par la vue n'est autre chose que ce sur quoi tombe un rayon émanant de la vue ; alors, si ce qui émane de la vue, ce sont, comme il l'a dit, des lignes infinies entre lesquelles il y a des intervalles infinis, et si ces lignes saisissent les divers objets en tombant sur des indivisibles, comme le pensent plusieurs de ceux qui ont recueilli de lui cette opinion, alors l'extrémité de chacune de ces lignes est un point saisissant un point.

Mais un point n'est pas perçu, puisqu'il n'a ni longueur, ni largeur, ni profondeur. Et ce qui est privé de longueur, de largeur et de profondeur n'est pas perçu par la vue. Donc ces lignes perçoivent, mais <elles> perçoivent ce qui n'est pas perçu. C'est là une absurdité encore plus insupportable.

Si, en outre, ces lignes saisissent des points par le moyen de leurs extrémités qui sont des points, <alors>, du fait que n'est saisi que ce sur quoi elles tombent, <les points> ont donc longueur et largeur. Mais <l'auteur> susdit, et tous les mathématiciens, disent que les points n'ont ni longueur ni largeur. C'est là une absurdité encore plus grande.

---

[21] La leçon *a lumine nominis denominata* conservée par les manuscrits *P* et *A* peut s'interpréter, semble-t-il, comme la traduction littérale d'une expression arabe qui comporterait une annexion de qualification se rapportant aux mots rendus en latin par *denominata* et *nominis* : c'est pourquoi nous avons maintenu cette *lectio difficilior* de *P A*. Sans doute le texte arabe voulait-il exprimer que *ḍiyā'* (signifiant "luminosité" et rendu par *impressio*) est dérivé de *ḍaw'* (signifiant "lumière" et traduit par *lumen*).

[22] Pour la traduction de l'expression *de aspectibus*, voir la note 2.

denominata propter conuersionem accidentium delatorum in corporibus illam impressionem recipientibus. Impressio igitur cum eo in quo est impressio simul est radius. Imprimens autem corpus est corpus tres habens dimensiones, longitudinem et latitudinem et profunditatem. Radius igitur non est secundum rectas lineas inter quas existant interualla. Si enim secundum lineas existeret, inter quas essent interualla, omnis radius careret latitudine, quoniam linea latitudine caret. Quod uero caret latitudine non sentitur, et omne quod sentitur simul cum latitudine sue extensionis uidetur. Omne enim quod sentitur habet latitudinem, aut in eo quod habet latitudinem deffertur. Linea uero latitudinem non habet. Non ergo uidetur linea, neque quod linea deffertur, si deffertur ea aliquid.

Radius igitur non uidetur et radius uidetur. Hoc quidem contrarium est et impossibile et inconueniens et monstruosum.

Cumque etiam linea apud eum qui hunc protulit sermonem sit sicut premisimus, scilicet magnitudo unam habens dimensionem, uidelicet longitudinem sine latitudine, cuius extremitates sunt duo puncta in quibus finitur, quorum nullum partem habet, et iam premiserit in tractatu suo de aspectibus quod uisu comprehensum non sit nisi illud super quod cadit radius a uisu procedens, tunc si quod procedit a uisu est linee infinite, quemadmodum dixit, inter quas existunt interualla infinita, et ille linee comprehendunt singularia casu earum super indiuidua, sicut putant plures eorum qui hunc sermonem ab eo receperunt, ergo finis cuiusque harum linearum est punctum comprehendens punctum.

Punctum autem non sentitur, quoniam longitudinem non habet neque latitudinem neque profunditatem. Quod autem longitudine et latitudine et profunditate caret, non sentitur uisu. Hae ergo linee sentiunt, sed quod non sentitur. Et hoc etiam est magis horrendum inconueniens.

Quod si etiam linee ille suis extremitatibus, que sunt puncta, comprehendunt puncta, eo quod non comprehendatur nisi super quod cadunt, habent ergo longitudinem et latitudinem. Is autem, qui predictus est, et omnes doctrinales dicunt quod puncta absque longitudine et latitudine existunt. Quod quidem maius est inconueniens.

9 illam *PJ* : illa *A* 10 est (*post* simul) *PA* : *mg. m. rec. J* 14-15 quoniam ... latitudine (*post* caret) *PA* : *mg. m. rec. J* 18 quod *PA* : *iter. J* 19 deffertur *P* : differtur *A* defertur *J* deffertur *P*: differtur *AJ* 20 et radius uidetur *PA* : *om. J* 21 inconueniens *PJ* : non conueniens *A* 22 protulit sermonem *PJ* : sermonem protulit *A* 24 latitudine *PA* : latitudinem *J* 26 uisu *P* : uisum *AJ* 35 uisu *PA* : uisui *J* hae ergo *P* : hee ergo *J* ergo hee *A* sentiunt *PJ* : non sentiuntur *A* 36 etiam est *PJ* : est etiam *A* 39 is *A* : his *PJ*

En outre, si les parties de l'organe de la vue sont continues, c'est-à-dire <faites> d'une même substance, alors la puissance visuelle réside dans tout l'organe. Quelle est donc la cause qui dispose les lignes en un cône, alors que l'organe qui imprime ce <cône> est un continu dans lequel il n'y a pas d'intervalles, et que la puissance <visuelle> n'est pas dans l'une <de ses parties> sans être dans une autre?

Si donc une partie de l'organe imprime dans l'air un rayon, et qu'une autre partie n'en imprime pas, alors les deux parties ont des puissances opposées. En effet, la puissance d'un même <sujet> accomplit une même opération. Et si la puissance de l'organe est une, et procède en sa totalité d'une même substance, alors elle produit une même impression, et non pas deux impressions dont l'une serait la ligne d'un rayon et l'autre ne le serait pas.

Si l'on dit que la cause <de ce fait> est dans l'air, alors l'air sera <un ensemble de> lignes <faites> de deux substances opposées, dont les unes reçoivent la lumière et dont les autres ne la reçoivent pas. Mais aller imaginer que l'air diffus[23] serait <un ensemble de> diverses lignes fixes, non mues, non diffuses, et que l'extrémité de chacune de ces lignes serait fixée en un point et que ce point tendrait vers le centre de l'organe de la vue de chaque observateur, jusqu'à ce qu'il le rencontre, comme le fer tend vers l'aimant : c'est une chose absolument ridicule, et dont rirait quiconque l'entendrait.

Si le sens du propos de cet <auteur> est que les rayons partent de la pupille en suivant des lignes droites, c'est-à-dire selon la rectilinéarité des lignes droites, et que les rayons ont une largeur, alors, si ce propos est vrai, on s'apercevra que le propos selon lequel il y a des intervalles entre les rayons n'est pas vrai, en raison de l'absurdité qui en résulte.

La voici : si plusieurs rayons, entre lesquels il y a des intervalles, partent de la pupille, celui qui regarde un livre voit plusieurs lettres, entre lesquelles il y a des intervalles en plusieurs endroits, et il ne voit pas ce qui est dans les intervalles qui sont entre elles, du fait qu'il n'y a pas de rayon qui tombe dans ces <intervalles>.

Or ce n'est pas de cette façon que nous voyons, mais de la façon que nous avons dite plus haut, quand nous avons parlé de celui qui regarde les lettres d'un livre. Nous ne voyons, en effet, qu'un seul lieu qui soit distinct pour nous, celui qui est dans la droite ligne du centre de notre vision. Et plus on s'en éloigne, plus <ce qu'on voit> se dérobe de façon

[23] Le mot latin *inundans* paraît être une traduction maladroite par Gérard d'un terme arabe qui devait caractériser l'air par sa propriété de se répandre dans tout l'espace disponible. L'argument développé par al-Kindī consiste, en effet, à opposer la propriété qu'a l'air d'être un milieu continu à la thèse selon laquelle l'air lui-même serait cause que les rayons visuels suivraient des lignes séparées par des intervalles, c'est-à-dire par des espaces vides.

Si autem etiam partes instrumenti uisus sunt continue, scilicet ex una substantia, tunc uirtus uisibilis est in toto instrumento. Que ergo est causa que fecit pinealem lineas, cum instrumentum eam imprimens sit unum continuum in quo non sunt interualla, et uirtus non sit in quadam absque alia?

Si ergo pars instrumenti imprimit in aere radium, et pars non imprimit, tunc uirtus duarum partium est diuersa. Virtus enim unius unum perficit opus. Quod si uirtus instrumenti est una et totum eius ex una existit substantia, ergo unam perficit impressionem in eo, in quo impressionem facit, et non duas impressiones quarum una sit linea radii et altera non sit radii.

Quod si dixerit quod causa existit in aere, ergo aer erit linee ex duabus diuersis substantiis, quarum quedam recipiunt lumen et quedam non recipiunt. Hoc autem scilicet ut putetur quod aer inundans sit linee diuerse stantes, non mote et non inundantes, et quod extremitas cuiusque illarum linearum sit fixa supra punctum, et punctum illud inquirat centrum instrumenti uisus cuiusque aspicientis, donec ipsum contingat, quemadmodum ferrum inquirit lapidem magnetem, est ualde turpe et de quo omnis, qui audierit, rideat.

Quod si intentio sermonis eius est quod radii egrediuntur ab aspiciente secundum rectas lineas, scilicet secundum rectitudinem linearum rectarum, et quod radii habent latitudinem, tunc si sermo hic est uerax, sermo quo dicitur quod inter radios sunt interualla non uerax inuenitur propter inconueniens quod ipsum sequitur.

Hoc est si radii plures, inter quos sunt interualla, egrediuntur ab aspiciente, aspiciens in libro uidet plures litteras inter quas sunt interualla in pluribus locis, neque uidet illud quod est in interuallis que sunt inter eas, eo quod radius supra ea non cadat.

Nos uero hoc taliter non uidemus, sed intuemur ipsum quemadmodum premisimus prius, ubi locuti fuimus de aspiciente litteras libri. Nos enim non uidemus nisi locum unum nobis manifestum, qui est rectitudo centri uisus nostri. Et quanto magis elongatur ab eo, magis occultatur secundum equalitatem in spatio,

44 lineas *P* : lineam *AJ* instrumentum *PA* : instrumento *J* 49 *post* totum *add.* esse *J* 50-51 in eo ... impressiones *PA* : *mg. m. rec. J* 51 facit *PJ* : fecit *A* 53 aer erit *PA* : *corr. m. rec. ex* aerit *J* 54 duabus *PJ* : duobus A diuersis substantiis *PJ* : substantiis diuersis *A* 56 non (*ante* inundantes) *PA* : *exp. J* inundantes *PJ* : in mundantes *A* extremitas *PA* : extremitates *J* 59 magnetem *PA* : magmem (?) *J* 62 secundum (*ante* rectas) *PA* : *mg. m. rec. J* 63 rectarum *PJ* : uel rectarum duarum *A* 68 in (*post* est) *PA* : *om. J* 69 cadat *PJ* : cadit *A*

égale dans l'espace[24], jusqu'à ce qu'on ne voie que du noir sur du blanc. Donc ce propos est tout à fait ridicule.

Pourtant nous ne devons pas mal juger du propos de cet <auteur>, ni l'assimiler à une erreur, parce que nous savons qu'il occupe un rang éminent en cette science et qu'il a été l'une des causes de ce que nous avons acquis d'excellentes connaissances ; nous devons, au contraire, le considérer favorablement et remettre son propos dans la bonne voie, puisque au surplus celle-ci nous est ouverte.

Je dis donc : on peut admettre que l'auteur de ce propos ait voulu dire que le rayon part de l'œil en suivant des lignes droites infinies entre lesquelles il y a des intervalles, c'est-à-dire que les limites du cône imprimé dans l'air par la puissance visuelle procèdent selon la rectilinéarité de lignes droites entre lesquelles il y a des intervalles.

Si en effet, à partir d'un point <gros comme une graine> de moutarde, on menait des lignes droites, il en partirait des lignes en nombre infini. Et puisqu'elles se prolongent à l'infini, il y a des espaces entre elles. En effet, s'il n'y avait pas d'espace entre elles, <c'est qu'> elles seraient finies. Donc selon cette voie <ce que cet auteur a dit> est vrai, et il est préférable aussi pour nous de l'estimer vrai.

L'un de ceux qui recueillirent ce propos de celui qui le tint, – après que ce dernier fut conduit à une absurdité par les <raisons> que nous avons dites -, pensa le préserver de cette absurdité en disant qu'aucun des rayons entre lesquels il y a des intervalles ne saisit les objets visibles, sauf un seul rayon.

Mais il ne s'est pas aperçu qu'en voulant tirer cet <auteur> d'une absurdité, il l'a jeté dans une absurdité plus honteuse, ou semblable. C'est celle-ci : cet <auteur> et ceux qui ont reçu de lui qu'il y a des intervalles entre les rayons susdits partant de la vue admettent que les susdits rayons de la vue ne sont pas perçus. Mais l'existence[25] de ce qui n'est pas perçu n'est connue qu'à partir de ses actions, c'est-à-dire à partir de son impression dans ce en quoi il a la force de s'imprimer. Et puisqu'il n'y a pas dans les rayons de force d'action, et qu'ils ne sont pas eux-mêmes perçus, qu'est-ce donc qui rend nécessaire <d'affirmer> qu'un cône parte de l'œil, si ce qui perçoit c'est la ligne d'un seul rayon, comme il a dit ? Ou s'il n'y a rien qui rende cela nécessaire, en quoi est-il plus logique que cela soit nécessaire ? En effet, ou bien le rayon de l'œil est une seule ligne

---

[24] Nous avons traduit au plus près du latin l'expression *secundum equalitatem in spatio*, et nous avons évité une traduction plus libre telle que "de façon proportionnelle à l'éloignement", pour signaler la difficulté éprouvée par Gérard à rendre la notion de proportionnalité. Le mot *equalitas* vise l'uniformité de la décroissance en netteté de la perception à mesure de l'éloignement du centre de la vision.

[25] Le mot latin *essentia* est manifestement une traduction inexacte, par Gérard, d'un terme arabe signifiant "existence" et non "essence", comme le montre le contexte de la discussion.

donec non uideatur nisi nigredo in albedine. Hic ergo sermo ualde deridendus est.

Oportet autem ne de sermone huius mala extimemus, neque ipsum ad errorem comparemus, cum ordinis eius bonitatem in hac arte sciamus, et quod ipse est de causis nostris que bonas res nos scire fecerunt, sed cogitemus de ipso bona et conuertamus eius sermonem ad semitam bonam, cum ad hoc nobis pateat item.

Dico igitur quod stare potest ut sit intentio dicentis hunc sermonem, quod ab oculo egreditur radius secundum lineas rectas infinitas, inter quas existunt interualla, scilicet figure pinealis in aere a uirtute uisibili impresse fines secundum rectitudinem linearum rectarum tendunt, inter quas sunt interualla.

Si enim a puncto sinapis linee recte protraherentur, egrederentur ab eo linee in multitudine infinite. Et quia infinite progrediuntur, ergo inter eas sunt spatia. Nisi enim inter eas essent spatia, ipse finite essent. Secundum hanc igitur semitam uerum est, et melius etiam nobis est, ut uerum extimemus.

Quidam uero eorum qui hunc sermonem a dicente ipsum receperunt, postquam ex eis, que diximus, ad inconueniens perductus est, putauit se eum tueri ab hoc inconuenienti dicens : nullus radiorum, inter quos sunt interualla, comprehendit uisibilia, nisi radius unus.

Qui quidem ignorauit quod, uolens eum ab inconuenienti eripere, perduxit eum ad turpius inconueniens aut ei simile. Quod est quoniam ipse et qui ab eo receperunt quod inter radios predictos a uisu egredientes existunt interualla, concedunt quod radii uisus, qui predicti sunt, non sentiuntur. Eius uero quod non sentitur, essentia non scitur nisi ex operibus eius, scilicet ex impressione eius in eo in quo imprimendi habet uim. Et postquam radiis non inest uis operandi, et ipsi non sentiuntur, quid est ergo quo fit necessarium ut figura pinealis ab oculo egrediatur, cum non sentiat nisi una radii linea, quemadmodum dixit? Aut si non est quo fiat necessarium, quid est conuenientius ut sit necessarium ? Hoc est ut aut radius oculi sit una linea ab oculo

75 non *PA* : *mg. m. rec. J* 78 comparemus *AJ* : compareremus *P* 79 que *AJ* : ex que *P* bonas *PA* : bona *J* nos *AJ* : *om. P* 87 egrederentur *PA* : eggredientur *corr. ex* eggredientibus *J* 89 eas *PJ* : ea *A* 96 quod *PJ* : que *A* 99 egredientes *J* : egrediente *PA* 2 habet uim *PJ* : uim habet *A* et ipsi *PA* : *om. J*

partant de l'œil, puisque pour ces <gens> on ne trouve de rayon que sur une seule ligne ; ou bien, s'il est nécessaire que ce soit un cône, c'est que sans aucun doute le sens saisit le rayon de ce cône ou l'impression de son action, et ne saisit pas une figure cylindrique, ou cubique, ou sphérique, ou d'une autre forme.

On a donc ici l'absurdité de quelqu'un qui affirme <l'existence de> quelque chose qu'il ne perçoit pas, ou dont la propre action, ni l'impression, ni la signification ne lui sont attestées. Donc l'absurdité de ceux qui posent <l'existence de> ce qui n'est pas perçu, ni attesté par son action, ni signifié par son impression, est plus grande que l'absurdité à laquelle ils ont <voulu> arracher cet <auteur>, ou elle lui est semblable[26]. Eux aussi ont transformé l'art de la démonstration en <art du> probable, tel celui de la rhétorique et de la poésie.

Les mêmes <auteurs> ont encore pensé et écrit que le rayon unique, qui saisit selon eux les objets visibles, est l'axe du cône partant de la vue, c'est-à-dire la ligne perpendiculaire en son centre au cercle qui est la base du cône. En même temps ils ont dit dans leurs traités que ce qui est au centre du cercle qui est la base du cône est vu le plus distinctement, et que ce qui est plus proche de ce centre est vu plus distinctement que ce qui en

---

[26] Le texte de ce paragraphe nous paraît dénoter certaines difficultés que Gérard de Crémone a éprouvées à traduire son modèle arabe, qui était peut-être corrompu dans le manuscrit dont il disposait. La syntaxe de chacune des deux phrases qui commencent par *Ergo inconveniens* et *Est ergo inconveniens* est fautive : on attendrait, par exemple, *cuius operatio* au lieu de *sua operatio*, *cuius impressio* au lieu de *sua impressio*, et dans la seconde phrase *sua operatione* au lieu de *sue operationi*, *sua impressione* au lieu de *sue impressioni*. Si l'on s'attache au sens, la traduction par *significatio* paraît également une maladresse : le mot arabe traduit ainsi avait probablement un sens voisin de celui de *attestatur* (on pourrait rapprocher cet emploi de *significatio* par Gérard de l'emploi de *significant* à la première ligne de la proposition 10, dont le sens n'est guère éloigné de celui de *verificant* à la première ligne de la proposition 9 ou à l'avant-dernier paragraphe de la proposition 8). Enfin, et surtout, les deux phrases se répètent manifestement l'une l'autre pour une part. La première paraît inachevée, et dépourvue de verbe principal qu'il faudrait suppléer : < *Est* > *ergo inconveniens*. On note aussi le passage du singulier dans la première phrase *eius qui dixit* au pluriel dans la suite *tenentium*, *eripuerunt*, alors qu'il s'agissait, dans ce qui précédait, d'un seul auteur qui avait cherché à interpréter Euclide.

L'explication d'une partie de ces difficultés nous paraît possible à partir de l'observation que, dans le manuscrit *P*, les mots *ergo inconveniens eius qui dixit illud quod non sentit aut sua operatio non attestatur ei aut sua impressio aut eius significatio est* se trouvent dans une note marginale (de la première main). Il est donc vraisemblable que nous avons en réalité, dans ce paragraphe, une double traduction d'une même phrase arabe : l'une commencerait par *Est ergo inconveniens tenentium*, l'autre par *Est ergo inconveniens eius qui dixit*. Cette dernière représenterait alors une tentative de correction (ou une proposition d'autre traduction) faite soit par Gérard lui-même, soit par l'un de ses *socii*. Seul le manuscrit *P* conserve l'une des traductions en marge, les copistes des autres manuscrits l'ont incluse dans le texte sans comprendre (ce qui souligne à nos yeux la valeur de *P*). Cette explication ne résout pas les difficultés de syntaxe du texte latin, mais elle suggère que le texte arabe a paru peu compréhensible à Gérard. Plutôt que de corriger le latin de Gérard, ce qui aurait obligé à le réécrire entièrement, nous l'avons donc laissé en l'état, en attirant l'attention du lecteur sur ses incohérences.

egrediens, postquam apud eos non reperitur radius nisi in una linea, aut si necesse fuit ut sit pinealis, quia sine dubio sensus comprehendit radium pinealis ipsius aut impressionem operationis eius, et non comprehendit figuram columneam aut cubicam aut spericam aut alterius figure.

Ergo inconueniens eius qui dixit illud quod non sentit, aut sua operatio non attestatur ei, aut sua impressio aut eius significatio. Est ergo inconueniens tenentium quod non sentitur, aut sue operationi attestatur et sue impressioni significatur, maius inconueniente a quo eum eripuerunt aut ei simile. Ipsi quoque fecerunt artem demonstratiuam probabilem, sicut est ars rethorica et metrica.

Ipsi etiam extimauerunt et in suis scriptis reliquerunt quod radius unus, quem dicunt comprehendere uisibilia, est meguar pinealis a uisu egredientis, scilicet linea que est perpendicularis super centrum circuli qui est basis pinealis. Et cum hoc in suis locis dixerunt quod illud, quod est in centro circuli, qui est basis pinealis, uidetur manifestius, et quod huic centro existit uicinius uidetur manifestius eo quod ab eo magis elongatur, ac si ipsi obliti fuissent unius eorum que dixerunt post aliud et quorum in suis scriptis declarationem apposuerunt.

7 reperitur *PA* : operatur *J* 7-8 aut si *A* : *corr. ex* aut sit *P* aut sit *J* 8 fuit *PA* : *om. J* *post* pinealis *add.* id est radius *J* 9 *post* radium *add.* fortune *J* 12-13 ergo ... significatio est *A* : *mg. m. pr. P* ergo ... significatio *J* 12 qui dixit *PA* : quia dixit *J* quod non *J* : qui non *PA* 14 sentitur *PA* : sentiatur *J* operationi *PA* : comparationi *J* 18 in *PA* : *mg. m. rec. J* 23 huic *PA* : huc *J*

est plus éloigné, comme s'ils avaient oublié une des choses qu'ils ont dites ensuite et dont ils ont donné la démonstration dans leurs écrits.

Si en effet le rayon est la ligne unique qui est la perpendiculaire tombant au centre du cercle qui contient la base du cône, alors on ne voit rien sinon le centre de ce cercle. En effet, eux-mêmes ont posé auparavant que ce sur quoi tombe le rayon est saisi par la vue, et ce sur quoi il ne tombe pas n'est nullement saisi. Si donc des endroits autres que le centre du cercle sont saisis, alors le rayon qui saisit les objets visibles n'est pas une ligne unique.

De ce qu'ils disent on conclut donc que ce qui saisit les objets visibles n'est qu'une ligne unique, et que ce qui saisit les objets visibles c'est plusieurs lignes, et aussi que ce qui est saisi par la vue n'est qu'un point unique ou un lieu unique, et que ce qui est saisi par la vue c'est plusieurs points ou plusieurs lieux. Et cela assurément est tout à fait contradictoire.

12

Ces gens ont estimé qu'ils avaient mené à son terme la question <de savoir> pourquoi la vue saisit ce qui est au centre du cercle contenant la base du cône du rayon partant de <l'organe de> la vue, plus distinctement que ce qui est en dehors du centre ; et <ils ont cru> en avoir donné la démonstration, car leur a fait défaut la science de la démonstration et de ce dont résulte une démonstration.

Ils ont dit, en effet, que le rayon élevé au centre du cercle contenant la base du cône était perpendiculaire en ce centre. D'autre part, la ligne de chaque rayon dirigé vers un lieu autre que le centre est une diagonale sous-tendue par l'angle droit compris entre la ligne du rayon élevé au centre et la ligne joignant le centre et l'autre point vers lequel se dirige cet autre rayon. Or la diagonale est plus grande que le côté. Donc un rayon dirigé vers un point quelconque autre que le centre est plus grand que le rayon mené vers le centre. Donc un point en dehors du centre est plus éloigné de la vue, et plus il est éloigné de la vue, plus faible est le rayon qui tombe sur lui, et moins distinctement il est vu.

<Ils ont parlé> comme si cette proposition était immédiate, à savoir que lorsque le rayon s'allonge il saisit plus faiblement, et lorsqu'il se raccourcit[27] il saisit plus distinctement, ou <comme si> ce qu'ils ont expliqué antérieurement était une proposition immédiate.

Mais cette proposition n'est pas vraie ; bien au contraire, sa fausseté est évidente. Il est clair, en effet, pour ceux qui suivent les principes des méthodes physiques, que ce qui est saisi par la vue indépendamment de la distance est la couleur, et que les formes sont les limites des couleurs. Si

---

[27] Le mot latin *appropinquat* est une traduction maladroite d'un terme arabe qui signifiait manifestement "se raccourcit".

Si enim radius est linea una, que est perpendicularis cadens supra centrum circuli continentis basim pinealis, tunc nichil uidetur nisi circuli centrum. Ipsi namque premiserunt quod illud, super quod cadit radius, uisu comprehenditur, et super quod non cadit, minime comprehenditur. Quod si loca preter centrum circuli comprehenduntur, ergo radius comprehendens uisibilia non est linea una.

Ex dictis igitur eorum colligitur ut comprehendens uisibilia non sit nisi linea una, et comprehendens uisibilia sit linee plures, et etiam non sit comprehensum uisu nisi punctum unum aut locus unus, et uisu comprehensa sint puncta plura aut loca plura. Et hoc quidem magis contrarium est.

< 12 >

Hii autem extimauerunt se iam perduxisse questionem ad finem, scilicet quare uisus comprehendit quod est in centro circuli basim pinealis continentis radii egredientis a uisu manifestius eo quod est preter centrum, et quod dederunt super hoc demonstrationem, eo quod demonstrationis scientia et ex quo proueniat demonstratio eis defuit.

Dixerunt enim quod radius supra centrum circuli pinealis basim continentis erectus perpendicularis super centrum existit. Et omnis linea radii directi ad locum, qui est preter centrum, est diametrus angulo recto subtensa, qui a linea radii super centrum erecti et linea coniungente inter centrum et notam aliam, ad quam alius dirigitur radius, continetur. Diametrus autem est latere maior. Radius igitur ad quamlibet notam preter centrum directus est maior radio ad centrum producto. Interuallum igitur note, que est preter centrum, magis elongatur a uisu, et quanto plus elongatur a uisu, cadit super eam radius debilior et uidetur magis occulta.

Ac si hec propositio foret absque medio, scilicet quod cum radius elongatur, debilius comprehendit, et cum appropinquat, manifestius comprehendit, aut illud quod prius declarauerunt esset propositio absque medio.

Hec autem propositio non est uera, immo eius falsitas patet. Manifestum namque est apud eos qui secundum principia naturalium uiarum gradiuntur, quod comprehensum uisu absque latitudine est color, et figure sunt fines colorum. Si ergo quod uisus comprehendit,

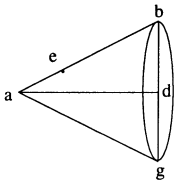
28 premiserunt *P* : premisserunt *J* permiserunt *A* 35 quidem *PJ* : quod *A*

<12>

5 defuit *P* : desinit *A* deficit *J* 9 a linea *PJ* : aliam linea *A* 11 *ante* radius igitur *add.* si *J* 14 cadit *P* : *iter. A* cadet *J* 16 ac *PJ* : hac *A* propositio *PJ* : proportio *A* *ante* foret *iter.* ac *J* absque medio *PA* : absque id est per se nota medio *J* 19 absque medio *PAJ* : *gloss.* id est per se nota *add. mg. m. pr. P*

donc ce que la vue saisit, c'est-à-dire la couleur, est d'autant plus faiblement saisi par le rayon et lui est d'autant plus dérobé qu'il est plus éloigné de la vue, alors <l'objet> coloré qui tombe sous le centre de la vision, c'est-à-dire qui se trouve au centre du cercle contenant la base du cône du rayon, est vu moins distinctement que ce qui est en dehors du centre, puisque la distance entre la vue et ce qui est au centre est une des parties de la distance <entre la vue et> ce qui tombe hors du centre de la vision.

Je vais en donner un exemple. Je dis donc : supposons que la ligne d'un rayon, plus longue, voit la chose moins distinctement ; soit alors la vue en *a* ; soit la base du cône du rayon aux deux points *b* et *g* ; soit *d* le centre de la base ; soit la ligne *ad* le rayon tombant sur *d* ; et soit le cône compris entre les deux lignes *ab*, *ag*. Je retranche de la ligne *ab* la ligne *ae*, que je pose <égale à> une partie de la ligne *ad*.



Alors un corps placé au point *e* est vu plus distinctement qu'un corps placé au point *d*. Mais ces gens ont posé antérieurement que ce qui est placé au centre de la vision est vu plus distinctement que ce qui est en dehors <du centre>. <Le corps en question> est donc <vu> plus distinctement et il n'est pas <vu> plus distinctement. Ce qui est contradictoire et impossible.

En outre, ce qui est éloigné d'une coudée du centre de la vision n'est pas vu aussi distinctement[28] que ce qui se trouve au centre <de la vision> sur la sphère des fixes, ni *a fortiori* que ce qui est plus proche.

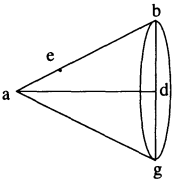
La longueur du rayon n'est donc pas la cause pour laquelle se manifeste à la vue ce qui est au centre de la vision, pas plus qu'elle ne l'est pour que se manifeste ce qui n'est pas en son centre ; et ce que <ces gens> prennent pour une démonstration n'en est pas une, comme nous l'avons montré. La cause de ce fait, c'est ce que nous démontrerons, si Dieu le veut.

---

[28] Le mot latin *declaratione* représente selon toute vraisemblance une traduction fautive, par Gérard, du mot arabe *bayān* qui a les deux significations de "clarté" ou "netteté" d'une image, et de "assertion" ou "preuve". Le mot *declaratio* désigne bien en latin classique l'action de montrer clairement, mais ce sens est inhabituel au Moyen Age.

uidelicet color, quanto magis elongatur ab eo, debilius a radio comprehenditur et apud eum magis occultatur, tunc coloratum cadens sub centro uisus, scilicet stans in centro circuli continentis basim pinealis radii, uidetur magis occultum eo quod est extra centrum, cum spatium eius quod est supra centrum a uisu est pars partium interualli cadentis extra centrum uisus.

Cuius exemplum ponam. Dico ergo, si linea radii longior uidet rem magis occultam, sit tunc uisus apud *a* et basis pinealis radii sit apud duas notas *b* et *g*, sitque basis centrum *d*, et radius cadens supra *d* sit linea *ad*, et sit pinealis contenta a duabus lineis *ab ag*. Separabo autem ex linea *ab* lineam *ae*, et ponam ipsam partem linee *ad*.



Corpus igitur stans apud notam *e* uidetur manifestius corpore stante apud notam *d*. Ipsi autem iam premiserunt quod stans sub centro uisus manifestius uidetur eo quod est preter ipsum. Ergo est manifestius et est non manifestius. Quod quidem contrarium est et impossibile.

Nec etiam uidetur quod elongatur a centro uisus cubito uno equale in declaratione ei quod in orbe stellarum fixarum stat sub centro, nedum ei quod eo est propinquius.

Non est ergo causa manifestandi uisui quod est sub centro uisus, magis quam manifestandi quod non existit sub centro eius longitudo radii, neque quod eius demonstrationem extimant est demonstratio, quemadmodum ostendimus. Huius autem causa est quod nos demonstrabimus, si deus uoluerit.

30 cuius *PA* : eius *J* ergo *PA* : *om. J* linea *PJ* : lineam *A* 31 occultam *PJ* : occultum *A* sit (*ante* tunc) *PA* : fit *J* 33 et sit *PJ* : quia sit *A* 37-38 et est non manifestius *PA* : *om. J* 39 nec *PJ* : hec *A* 40 declaratione *PA* : declinatione *J* 41 ei *AJ* : eo *P*

Je dis donc que nous ne voyons pas que dans les lieux obscurs une couleur soit jamais perçue, à moins que n'y entre la lumière. Si donc la lumière est intense, la couleur sera plus visible, et si elle est faible, la couleur sera estompée. De la même façon aussi nous voyons qu'une vue plus forte voit la couleur plus distinctement, et qu'une vue plus faible voit la couleur <comme> plus estompée. Or, pour nous, la vue qu'on appelle plus forte est celle qui accomplit parfaitement son opération, et <la vue> faible est celle dont l'effet est incomplet.

Si donc il est bien connu d'eux, de nous et de tous les savants[29], que l'effet de la vue est de transformer ce qui se présente à la partie de l'organe de la vue qui tire son nom de la sphère de transformation, alors celui des rayons visuels qui a le plus de puissance pour opérer cette transformation saisit plus fortement son <objet> visible. Et celui qui est plus faible pour opérer cette transformation saisit plus faiblement son <objet> sensible. Donc une vue plus puissante opère une transformation parfaite. Elle produit donc un rayon parfait, c'est-à-dire fort. Donc une vue faible produit le contraire de cela. Donc un corps sur lequel tombe un rayon plus fort est saisi plus distinctement, et celui sur lequel tombe <un rayon> plus faible est saisi moins distinctement.

Je dis donc qu'au centre de la vision tombe le rayon le plus fort. Pour cette raison, ce qui s'y trouve est vu plus distinctement. Ensuite, sur ce qui en est plus proche, tombe un rayon plus fort que celui qui tombe sur ce qui en est plus éloigné. C'est pourquoi <ce qui est plus proche> du centre est vu plus distinctement que ce qui en est plus éloigné.

13

Je montrerai aussi cela après avoir démontré que les corps lumineux ont le pouvoir de transformer l'air qu'ils embrassent, c'est-à-dire qu'ils éclairent tout ce qu'il y a dans la zone qu'ils peuvent éclairer.

Je dis donc que de deux choses l'une : ou bien un corps lumineux éclaire un corps sur lequel tombe la lumière, en transformant l'air qu'il embrasse, en sorte qu'il parvienne au corps sur lequel tombe la lumière et l'éclaire ; ou bien il y a, comme ces gens l'ont pensé, des lignes de rayons partant du corps lumineux, séparées par des intervalles, et qui parviennent au corps à éclairer et tombent sur lui. Et si des lignes partent du corps lumineux, nécessairement ou bien c'est comme si elles sortaient de son centre, c'est-à-dire qu'elles coupent la surface du <corps>

[29] Nous avons vu que Gérard emploie le mot *doctrinalis* pour désigner la science mathématique (note 1), dont l'optique fait partie.

Dico igitur quod nos uidemus in locis obscuris numquam colorem comprehendi nisi in eis adueniat lumen. Si ergo lumen fuerit forte, erit color manifestior, et si fuerit debile, erit color occultus. Similiter quoque uidemus quod quicumque uisuum est fortior, uidet colorem manifestius, et quicumque est debilior, uidet colorem magis occultum. Visus autem apud nos nominatus fortior est qui operationem perfectam efficit, debilis uero cuius effectus non est perfectus.

Si ergo per se notum est apud eos et apud nos et apud omnes doctrinales, quod effectus uisus est ut conuertat id quod obuiat parti uisibilis ex spera conuersionis nominate, radius tunc qui uisuum super illam conuersionem est potentior, fortius comprehendit suum uisibile. Et debilior eo in conuersione illa debilius comprehendit suum sensibile. Potentior ergo uisus conuersionem efficit perfectam. Ipse igitur efficit radium perfectum, scilicet fortem. Debilis ergo huius efficit contrarium. Corpus ergo, super quod cadit radius fortior, comprehenditur manifestius, et illud, super quod debilior cadit, occultius comprehenditur.

Dico ergo quod super centrum uisus cadit radius fortior. Quapropter quod in eo est manifestius uidetur. Deinde super id quod est ei propinquius, cadit radius fortior eo qui cadit super id quod magis elongatur ab eo. Quare manifestius uidetur eo quod ipso magis elongatur a centro.

< 13 >

Hoc quoque ostendam, postquam demonstrauero quod corpora luminosa sua uirtute conuertunt aerem ab eis contentum, uidelicet illuminant totum quod est usque ubi illuminare habent.

Dico ergo impossibile esse quin corpus luminosum illuminet corpus super quod cadit lumen, conuertendo quod ex aere ab eo continetur, donec perueniat ad corpus super quod cadit lumen, et illuminet ipsum, aut sint, quemadmodum ipsi putauerunt, egredientes ab eo linee radii inter quas existunt interualla, donec perueniant ad corpus illuminandum et cadant super ipsum. Quod si ab eo egrediuntur linee, impossibile est quin ipse sint quasi egrediantur a centro corporis luminosi, id est secent

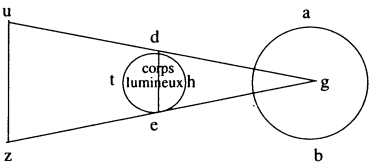
47 colorem *AJ* : colore *P* 51 et quicumque *PJ* : quia quecumque *A* 52 uisus *AJ* : uisum *P* perfectam *PAJ* : *gloss.* id est completam *add. mg. m. pr. P* 57 fortius *PJ* : citius *A* 58 eo *PJ* : est *A* 66 qui *AJ* : quod *P* 67 ab eo *PA* : *corr. mg. ex* a centro hoc quoque eo *J*

<13>

1 ostendam *PA* : extendam *J* 7 sint *C Björnbo* : sit *PAJ* 8 existunt *PJ* : exeunt *A*

lumineux selon des angles égaux, ou bien si ce n'est pas le cas, c'est qu'elles coupent <la surface> selon des angles inégaux. Et si elles <la> coupent selon des angles inégaux, alors les lignes seront ou bien parallèles, ou bien non parallèles.

Je vais donc démontrer qu'il est impossible que la lumière partant d'un corps lumineux soit comme des lignes partant de son centre.



Soit, par exemple, le cercle *ab* de centre *g* un corps lumineux ; et le cercle *de* un corps éclairé. Soit les deux lignes *gdu*, *gez*, deux lignes qui partent <du corps lumineux>, et qui touchent[30] les bords du corps éclairé.

Donc la partie du corps *de* sur laquelle tombe la lumière est la partie *dhe*, et la partie obscure est la partie *dte*. Or la partie sur laquelle le rayon ne tombe pas n'est pas éclairée. Donc la partie délimitée par les points *udtez* est l'ombre, et cette ombre recouvre *de* et *uz* selon des lignes parallèles, de sorte que les deux triangles *ugz* et *dge* sont semblables. Donc le rapport de *uz* à *ug* est égal au rapport de *de* à *dg*. Or *ug* est plus grand que *dg*. Donc *uz* est plus grand que *de*. Donc l'ombre d'un corps quel qu'il soit s'agrandit et s'élargit à mesure qu'elle s'en éloigne, que le corps éclairant soit plus grand, plus petit, ou égal au <corps éclairé>, et elle s'étend à l'infini.

Mais c'est le contraire qu'on perçoit. En effet, quand le corps lumineux est plus grand que le <corps> éclairé, l'ombre se resserre, en sorte qu'elle prend la forme d'un cône[31] et s'arrête : c'est bien cela que nous percevons. Et quand le <corps> lumineux est plus petit que le <corps> éclairé, l'ombre s'élargit. Et quand il lui est égal, l'ombre ne s'élargit ni ne se resserre, mais elle est comprise entre des lignes parallèles. Il n'est donc pas possible que la lumière qui part du corps lumineux soit des lignes qui en coupent la surface selon des angles égaux. C'est ce que nous voulions démontrer.

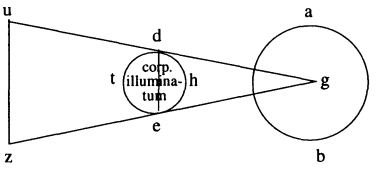
---

[30] Dans le lexique mathématique de Gérard, le verbe *contingere* signifie habituellement "être tangent" ; néanmoins, puisqu'il est accompagné du complément *fines*, qui n'a pas ici de valeur scientifique précise, nous avons adopté une traduction moins technique.

[31] Dans le lexique de Gérard, le mot *pinea* a le sens technique de "cône" (voir note 4).

superficiem luminosi secundum angulos equales, aut non sint ita, scilicet secent secundum angulos inequales. Si autem fuerint secantes secundum angulos inequales, tunc linee aut erunt equidistantes aut non equidistantes.

Demonstrabo ergo impossibile esse ut sit lumen a corpore luminoso egrediens linee quasi a centro egredientes.



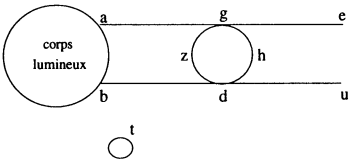
Sitque huius exempli causa corpus luminosum circulus *ab*, cuius centrum est *g*, et corpus illuminatum sit circulus *de*. Et sint due linee egredientes, que contingunt fines corporis illuminati, due linee *gdu gez*.

Pars igitur corporis *de*, supra quam cadit lumen, est pars *dhe*, et pars obscura est pars *dte*. Pars autem, super quam non cadit radius, non illuminatur. Ergo pars contenta ab his *udtez* est umbra, et obumbrat *de* et *uz* lineis equidistantibus, ut sint duo trianguli *ugz* et *dge* similes. Ergo proportio *uz* ad *ug* est sicut proportio *de* ad *dg*. Sed *ug* est maior *dg*. Ergo *uz* est maior *de*. Cuiusque igitur corporis umbra dilatatur et in latitudine augetur, quanto magis ab eo elongatur, siue corpus ipsum illuminans sit eo maius aut minus aut ei equale et in infinitum protenditur.

Quod autem sentitur est huius contrarium. Cum enim corpus luminosum est maius illuminato, constringitur umbra donec fiat sicut pinea et finiatur. Ita namque sentimus. Et cum luminosum est minus illuminato, dilatatur umbra. Et cum est ei equale, non dilatatur umbra, neque constringitur, sed est contenta lineis equidistantibus. Non est ergo possibile ut sit lumen egrediens linee secantes superficiem corporis luminosi secundum angulos equales. Et hoc est quod demonstrare uoluimus.

11 angulos *PA* : *mg. m. rec. J* 23 uz *PA* : doz *J* 25-26 et in *P* : in *A* et *J*
31 pinea et *PA* : pinean *J* 35 hoc *PJ* : illud *A* 36 uoluimus *PA* : uolumus *J*

Soit maintenant des lignes parallèles, si cela est possible. Je vais montrer pourtant que c'est impossible.



Soit, par exemple, le cercle *ab* un corps lumineux, et le cercle *gd* un corps éclairé. Soit *age*, *bdu*, les deux lignes qui touchent les bords du corps *gd*, et qui sont parallèles. La partie éclairée sur laquelle tombe la lumière est la partie *gzd*. La partie dans laquelle se trouve l'ombre est la partie *ghd*. Donc l'ombre est comprise entre les deux lignes parallèles *eg*, *du*. Donc l'ombre n'augmente ni ne diminue <en largeur>, mais elle s'allonge toujours à l'infini.

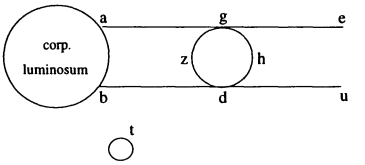
Mais c'est le contraire qu'on perçoit, comme nous l'avons dit plus haut. En effet, avec un <corps> lumineux plus petit, <l'ombre> augmente, elle diminue avec un <corps lumineux> plus grand, et elle reste égale quand le corps lumineux et le corps éclairé sont égaux. Il n'est donc pas possible que d'un corps lumineux partent des lignes parallèles. C'est ce que nous voulions démontrer.

Il n'est pas possible non plus qu'un corps soit éclairé, excepté s'il est du côté du corps *gd* : <il en est> ainsi du corps *t*. En effet, il n'y a pas de lignes parallèles du côté du corps *t*, puisqu'elles sont du côté du corps *gd*. Il en résulte que la lumière du corps doit être dans des zones particulières, qui sont les zones auxquelles parviennent les lignes parallèles.

Mais cela ne se trouve pas dans la nature. En effet, les corps lumineux ont des parties semblables. Leurs parties n'ont donc pas des effets différents, et il n'est pas possible qu'ils éclairent d'un côté et non de l'autre. Dans ce cas, en effet, un corps ayant des parties semblables aurait des parties dissemblables. Ce qui serait contradictoire et impossible.

Il n'est pas possible non plus qu'il y ait des lignes non parallèles et qui ne partent pas du centre. Car s'il en était ainsi, il serait nécessaire encore que les corps lumineux n'aient pas des parties semblables. En effet, une partie ferait aller une ligne dans une direction, et une autre ferait aller une ligne dans une autre direction. Mais ce dont les parties ont des effets différents n'a pas de parties semblables. En effet, des parties semblables

Post hec sint linee equidistantes, si est illud possibile. Ostendam tamen illud esse impossibile.



Sit itaque causa exempli corpus luminosum circulus *ab*, et corpus illuminatum circulus *gd*. Et sint due linee contingentes fines corporis *gd* linee *age bdu*, que sunt equidistantes. Pars quoque illuminata est supra quam cadit lumen, que est pars *gzd*. Pars autem, in qua est umbra, est pars *ghd*. Umbra igitur continetur a duabus lineis *eg du* equidistantibus. Umbra igitur non augetur neque minuitur, sed protenditur semper in infinitum.

Quod autem sentitur est huius contrarium, sicut premisimus. Augmentatur enim cum luminoso minore, et minuitur cum maiore, et equatur cum equalitate corporum luminosorum. Non est igitur possibile ut a luminoso corpore linee egrediantur equidistantes. Et hoc est quod demonstrare intendimus.

Nec etiam est possibile ut illuminetur corpus preter illud quod est in parte corporis *gd*, sicut corpus *t*. Linee enim equidistantes non existunt in parte corporis *t*, postquam sunt in parte corporis *gd*. Unde ex hoc oportet ut lumen eius sit in partibus propriis, que sunt partes ad quas peruenium linee equidistantes.

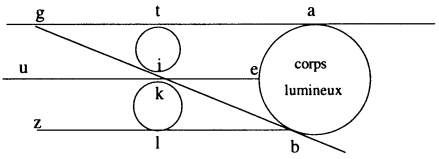
Hoc autem extra naturam est. Corpora namque luminosa similium sunt partium. Non ergo partium eorum effectus diuersificatur, nec est possibile ut ab una parte illuminent absque alia. Tunc enim corpus similium partium esset non similium partium. Quod quidem contrarium esset et impossibile.

Nec etiam est possibile ut sint linee non equidistantes et non egredientes a centro. Si enim ita esset, esset etiam necessarium ut corpora luminosa non essent similium partium. Quedam enim faceret lineam prodire ad partem unam, et alia faceret lineam prodire ad aliam partem eius. Cuius autem partium effectus diuersificatur, similium non

37 est illud *PJ* : illud est *A* 41 *post* age *add.* et *J* 48 equalitate *PA* : qualitate *J* 50 intendimus *PJ* : uoluimus *A* 51 est possibile *PA* : impossibile *J* 63 similium *AJ* : similimilium *P* faceret *PJ* : facerent *A* 64 faceret *PJ* : facerent *A* 64-65 aliam partem *PA* : partem aliam *J*

produisent un effet semblable. Donc ce qui a des parties semblables aurait des parties dissemblables. Ce qui est contradictoire et impossible.

Il devrait s'ensuivre également que soit éclairé dans une certaine direction ce qui est éclairé dans la direction contraire. Mais les lumières de chacune des parties d'un corps lumineux sont semblables. Je vais en donner aussi un exemple.



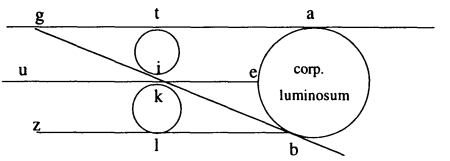
Posons donc que le cercle *ab* soit un corps lumineux ; que la ligne *ag* soit une des lignes qui en partent, la ligne *bg* une autre, la ligne *eu* une autre, la ligne *bz* une autre. Posons que le corps sur lequel tombe la lumière soit entre les deux lignes *ag*, *bg*, qui sont tangentes au corps *ti*. Posons encore les deux lignes *eu*, *bz*, dont les extrémités ne se rencontrent pas, même si on les prolonge à l'infini. Et posons que le corps qui se trouve entre les deux lignes *eu*, *bz*, soit le corps *kl*, auquel <ces lignes> sont tangentes en *k* et en *l*.

Je dis donc que l'ombre qui provient du corps *ti* s'amenuise et s'arrête, et qu'elle a la forme d'un cône. En effet, les extrémités des lignes des deux rayons qui touchent les bords du corps *ti* se rencontrent au point *g*. Donc l'ombre du corps *ti* est comprise entre les deux lignes *tg*, *ig*, et la surface du corps *ti* qui est du côté de *g*. Donc l'ombre se termine à l'angle *g*.

Puisque, d'autre part, les extrémités des deux lignes qui touchent les bords du corps *kl* ne se rencontrent pas, même si on les prolonge à l'infini du côté de *uz*, alors ou bien <ces lignes> seront parallèles, ou bien, plus on les prolongera du côté de *uz*, plus l'espace entre elles augmentera. Mais l'ombre provenant du corps *kl* est comprise entre les deux lignes *ku*, *lz*, et la surface du corps *kl* qui est du côté de *uz*. Donc elle ne se termine pas, ne s'amenuise pas, et n'augmente pas. Elle est donc constamment dans le cas contraire à celui de l'ombre du corps *ti*. Celle-ci, en effet, s'amenuise comme nous l'avons dit plus haut.

existit partium. Similes enim partes similem operantur effectum. Quod ergo est similium partium, esset dissimilium partium. Quod quidem contrarium est et impossibile.

Oporteret etiam per hoc ut esset manifestum ex parte contraria quod manifestum est ex parte alia. Lumina autem cuiusque partium corporis luminosi sunt similia. Huius quoque exemplum ponam.



Ponam itaque ut corpus luminosum sit circulus *ab*, et una linearum ab eo egredientium linea *ag*, et una earum linea *bg*, et una earum linea *eu*, et una earum linea *bz*. Et ponam ut corpus, super quod cadit lumen, sit inter duas lineas *ag bg*, que contingant corpus *ti*. Ponam etiam duas lineas *eu bz* quarum extremitates non concurrant, etiam si in infinitum protrahantur. Et ponam ut corpus, quod cadit inter duas lineas *eu bz*, sit corpus *kl*, que contingant ipsum supra *k* et *l*.

Dico ergo quod umbra proueniens a corpore *ti* minuitur et finitur et fit pinealis. Duarum enim extremitates linearum radii, que contingunt fines corporis *ti*, concurrunt supra notam *g*. Vmbra igitur corporis *ti* continetur a duabus lineis *tg ig* et superficie corporis *ti*, que est a parte *g*. Vmbra ergo finitur apud angulum *g*.

Quia uero duarum linearum fines corporis *kl* contingentium extremitates, licet a parte *uz* in infinitum producantur, non concurrunt, ergo aut erunt equidistantes aut quantumcumque a parte *uz* protrahantur, spatium inter eas augmentabitur. Vmbra autem proueniens ex corpore *kl* continetur a duabus lineis *ku lz* et superficie corporis *kl*, que est in parte *uz*. Ipsa ergo non finitur neque minuitur neque augetur. Semper ergo est contraria umbre corporis *ti*. Ipsa enim minuitur, quemadmodum premisimus.

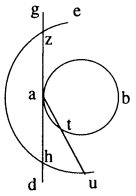
68 contrarium est *PJ* : est contrarium *A* 69 oporteret *P* : oportet *AJ* 70 ex *PJ* : *om. A* cuiusque *PA* : cuius *J* 75 duas lineas *PJ* : lineas duas *A* contingant *P* : contingat *A* contingingant *J* ti *PJ* : tl *A* 79 ti *PJ* : tl *A* 81 ti *PJ* : t *A* ti *PJ* : t *A* 82 superficie *PJ* : superficio *A* 85 licet *PJ* : l *A* concurrunt *P* : concurrent *A* concurunt *J* 88 ex *PJ* : a A

Mais on peut poser que le corps situé entre les deux lignes *ag*, *bg*, soit le corps situé entre les deux lignes *eu*, *bz*, de sorte qu'il soit transféré de l'intervalle entre les deux <premières> lignes à l'intervalle entre les deux <autres> lignes. Dans ces conditions, il faut donc qu'à un même corps éclairé par un même corps lumineux adviennent des ombres toujours différentes, en raison de son propre mouvement ou de celui du corps lumineux, ou des deux à la fois, les deux corps ayant la même forme, à savoir une forme ronde.

Mais on ne constate cela dans <le cas d'> aucun des <corps> éclairés. Jamais en effet son ombre ne s'amenuise, sinon quand <le corps> qui éclaire est plus grand que le <corps> éclairé ; elle augmente dans le cas contraire, et elle reste égale quand <les corps> sont égaux. Il est donc impossible que la lumière qui part d'un corps lumineux soit des lignes irrégulières ne partant pas du centre, ni non plus <qu'elle soit des lignes> partant du centre, comme nous l'avons montré plus haut, ni <qu'elle soit des lignes> parallèles.

La seule <possibilité> qui reste, c'est donc que la lumière vienne du corps lumineux dans tout l'air qu'il touche, et que tout lieu d'où il est possible de mener une ligne droite jusqu'à un point du corps lumineux soit éclairé par la lumière du corps lumineux. De cela aussi je vais donner un exemple.

Soit donc, par exemple, le cercle *ab* un corps lumineux. Menons une ligne *gd* tangente au cercle *ab* au point *a*. Soit l'arc *eu* un corps éclairé, que la ligne *gd* coupe <aux points> *z*, *h*.



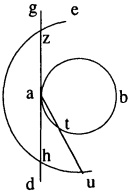
Je dis donc que de tout point de l'arc *zh* il est possible de mener une ligne droite jusqu'au point *a*. Mais il n'est pas possible <d'en mener une> à partir de l'arc *ez* ni de l'arc *hu*. En effet, on a déjà dit en traitant des surfaces que si une ligne droite est tangente à un cercle, il n'est pas possible de mener à partir du point de tangence une autre ligne droite du côté du cercle, sinon une ligne sécante, telle que la ligne *ua* qui coupe le cercle *ab*. Et puisqu'elle coupe le cercle, elle le coupe donc en un point, tel le point *t*, avant de parvenir en *a*.

Possibile autem est ut corpus cadens inter duas lineas *ag bg* ponatur esse corpus cadens inter duas lineas *eu bz*, ita ut transducatur ab eo quod est inter duas lineas ad id quod est inter duas lineas. Propter hoc igitur oportet ut uni corpori illuminato ab uno luminoso corpore proueniant semper umbre diuerse aut motu ipsius aut motu corporis luminosi aut motu utrorumque simul, cum corpus illuminatum est similis comprehensionis, uidelicet comprehensionis rotunde.

Hoc autem non reperitur in aliquo illuminatorum. Nunquam enim minuitur eius umbra, nisi cum illuminans est maius illuminato, et augmentatur cum huius contrario, et cum equali equatur. Non est ergo possibile ut sit lumen egrediens a corpore luminoso linee irregulares non egredientes a centro, neque etiam egredientes a centro, quemadmodum prius ostendimus, neque equidistantes.

Non ergo restat nisi ut lumen proueniat per corpus luminosum in toto aere ab eo contento, et ut omnis locus, a quo possibile est produci lineam rectam ad notam corporis luminosi, illuminetur a lumine corporis luminosi. Huius quoque exemplum ponam.

Sit ergo causa exempli corpus luminosum circulus *ab*. Producam autem lineam *gd* contingentem circulum *ab* supra notam *a*. Et sit corpus illuminatum arcus *eu*, et secet ipsum linea *gd* supra *z h*.



Dico igitur quod possibile est ut ab omni nota existente in arcu *zh* protrahatur linea recta ad punctum *a*. Ab arcu uero *ez* et arcu *hu* non est possibile. Iam enim antecessit in sermonibus, qui sunt de superficiebus, quod si aliqua linea recta contingit circulum, non est possibile ut a nota, supra quam contingit circulum, producatur alia linea recta in partem circuli nisi linea circulum secans, sicut linea *ua*

92 bg *O C Björnbo* : dg *PA om. J* 93 cadens *PA* : *om. J* 96 motu *PA* : motum *J* 98 uidelicet *PA* : uide *J* 99 nunquam *PJ* : non quam *A* 3 neque ... centro *PJ* : *mg. m. pr. A* 4 prius *PJ* : *om. A* 5 ut *AJ* : *om. P* 7 a lumine *PA* lumen *J* 10 notam *PJ* : nota *A* 11 illuminatum *PA* : luminatum *J* 12 est *PA* : *om. J* 13 protrahatur *PA* : protrahabatur *J* 16 circulum *PJ* : *om. A*

Il n'est donc pas possible que du point *a* on mène une ligne jusqu'au point *u* – car la convexité[32] *at* empêche que la ligne soit droite – ni jusqu'à un autre point de l'arc *hu*. En effet, les lignes menées du point *a* jusqu'à l'arc *hu* sont dans le même cas, à cause de ce qu'on a dit plus haut : ces lignes coupent le cercle *ab*.

Nous avons donc montré sur des exemples comment chaque partie d'un corps lumineux éclaire ce qui est en face d'elle, c'est-à-dire ce à partir de quoi il est possible de mener une ligne jusqu'à ce <corps>. C'est ce que nous voulions démontrer.

14

Dans ces absurdités que nous venons de mentionner, avant d'établir comment chaque partie d'un <corps> lumineux éclaire ce qui est devant elle, tombent bon nombre de gens qui s'arrogent le magistère et la juridiction, c'est-à-dire qui se croient des docteurs de science profonde avant même d'être de studieux apprentis.

Mais leurs œuvres et leurs pensées sont comparables aux œuvres et aux pensées de gens qui paraissent lire parfaitement un livre parce qu'ils savent par cœur les formes de quelques noms, en ignorant cependant les formes des lettres et les sons <qu'elles notent>, et la façon dont tous les noms et les mots s'analysent en <lettres> et en sont composés. À tout instant, donc, ils trouvent des mots qu'ils ignorent, pour lesquels ils mettent, à la place de ce qui est écrit, quelque chose qui lui ressemble par la forme et dont le son est différent : ainsi pour *fa* et *qaf*, dont les formes sont semblables et qui diffèrent par le son ; le son du *fa* est en effet autre que le son du *qaf*[33].

Ils ressemblent aussi à <un homme> qui, privé de la vue, travaille à composer une belle forme à partir de divers <éléments>. Il tombe, en effet, dans l'erreur du fait qu'il est privé de la vue et qu'il ignore son erreur, et il fait donc rire de lui celui dont la vue est la plus faible parmi ceux qui ont la vue, et à plus forte raison celui dont le regard est aigu et qui est habile à composer. Donc cet <homme>, du fait qu'il est privé de la vue, met dans sa composition ce qui ne lui appartient pas et en écarte ce qui lui appartient. Cependant, à cause de <sa cécité>, il ne perçoit rien de son ouvrage, même s'il a reçu l'enseignement de quelqu'un doué de la vue et habile à composer.

---

[32] Le mot *gibbositas* est un terme technique couramment employé par Gérard pour désigner la courbure d'une ligne ou d'une surface, qu'elle soit concave ou convexe : nous le traduirons généralement par "courbure", quand il est accompagné d'un qualificatif qui le précise, mais parfois aussi par "convexité" ou "concavité".

[33] Les lettres *fa* et *qaf*, de formes semblables, se distinguent dans l'écriture par les points diacritiques.

secans circulum *ab*. Et quia ipsa secat circulum, ergo secat ipsum supra punctum priusquam perueniat ad *a*, sicut punctum *t*.

Non est ergo possibile ut a puncto *a* protrahatur linea ad notam *u* – gibbositas namque *at* prohibet lineam a rectitudine – neque ad notam aliam que sit in arcu *hu*. Lineis enim, que producuntur a nota *a* ad arcum *hu*, accidit simile huic propter hoc quod premissum est, has lineas secare circulum *ab*.

Iam ergo exemplificauimus qualiter queque pars corporis luminosi illuminet quod ei obuiat, scilicet a quo est possibile ut ad ipsum producatur linea. Et hoc est quod demonstrare uoluimus.

< 14 >

Hec autem inconuenientia quorum precessit mentio, antequam poneremus qualiter queque pars luminosi illuminet quod ei obuiat, accidunt plerisque qui presumunt usurpare sedem et testificare lites, scilicet qui putant se esse doctores acutos in doctrina, ante quam sint discipuli in disciplina eruditi.

Horum uero opera et cogitationes similantur operibus et cogitationibus similium optime legentibus librum, eo quod paucorum nominum figuras cordetenus tenuerint, cum tamen ignorent litterarum figuras et sonos, et qualiter omnia nomina et dictiones in eas resoluantur et ex eis componantur. In nulla ergo hora desunt eis uerba que ignorent, in quibus ponant loco scripti ei in figura simile et in sono diuersum, quemadmodum *fe* et *caph*, que in figuris sunt similes et in sonis diuersificantur. Sonus enim *fe* alius est a sono *caph*.

Isti quoque similes existunt, cuius uisus priuatus est, qui laborat ut ex diuersis formam pulchram componat. Ipse enim in errorem incurrit propter priuationem sui uisus et ignorantiam sui erroris, quod derideatur ab eo cuius uisus habentibus uisum est debilior, nedum ab eo qui acutum habet aspectum et in componendo est acutus. Hic ergo, propter sui uisus priuationem, ponit in forma sua quod non est ex ea, et eicit ab ea quod est eius. Nec tamen percipit propter hoc aliquid sui operis, neque etiam cum docuerit eum habens uisum et in componendo subtilis.

18 circulum (*ante* ab) *PA* : circululum *J* 19 perueniat *PA* : proueniat *J* 26 illuminet *PJ* : illuminat *A* 27 producatur *PJ* : perducatur *A* uoluimus *P* : uolumus *AJ*

<14>

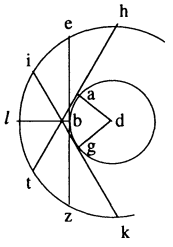
2 obuiat *PJ* : obuiet *A* 4 scilicet *PA* : *om. J* 11 et *PA* : *om. J* 13 a *PA* : in *J* 15 in errorem *correxi* : ex errore *PA* exrore *J* 21 etiam *PJ* : et *A*

Tous ces gens, assurément, sont dignes de pitié parce qu'ils marchent dans la voie de l'erreur et nagent dans les profondes ténèbres de l'ignorance, étonnés d'atteindre un but sans l'avoir cherché. Et s'ils cherchent à atteindre un but, ils ignorent quand ils l'atteignent, ou quand ils le dépassent, ou quand ils n'y sont pas encore.

Puisque éclatent maintenant les contradictions et les absurdités auxquelles ces gens se heurtent, et la vérité à laquelle ils n'atteignent pas, nous allons donc expliquer comment une lumière intense tombe sur le centre du cercle qui contient la base de l'air qui subit l'action de la vue, et comment une lumière faible tombe sur ce qui est éloigné de ce centre.

Je dis donc que le lieu qui est en face d'un plus grand nombre de parties lumineuses est plus éclairé que celui qui est devant un moins grand nombre <de ces parties>. En effet, chacune des parties lumineuses éclaire par elle-même le lieu en face duquel elle est. Pour cette raison, le lieu éclairé par <les parties plus nombreuses> a une lumière plus forte que <le lieu> éclairé par les autres, comme nous voyons que cela se produit avec des chandelles. En effet, le lieu sur lequel tombe la lumière d'une seule chandelle est éclairé plus faiblement que celui sur lequel descend la lumière de deux chandelles. Et de même plus augmente <le nombre> des chandelles qui sont devant un lieu, plus intense est sa lumière. Je dis donc qu'au lieu appelé centre de vision se rencontrent un plus grand nombre de parties de la vue qui l'éclairent : c'est pourquoi une lumière plus intense tombe sur lui.

À titre d'exemple, soit le cercle *abg*, de centre *d*, l'organe de la vue, c'est-à-dire l'œil. Soit l'arc *abg* la partie dans laquelle se trouve la puissance de saisir <l'objet> visible, c'est-à-dire <la partie> qu'on appelle la convexité de l'œil. Menons donc *ze*, tangente <au point> *b*, qui divise l'arc *ag* en deux moitiés ; la ligne *ht* tangente au point *a*, qui est une des deux extrémités de la convexité de l'œil ; et la ligne *ik* tangente au point *g*, qui est l'autre extrémité de la susdite courbure de l'œil. Soit l'arc *heitzk* le corps qui est regardé ; et soit le point *l* le point placé au centre de la vision, la ligne menée de ce point à *b* étant perpendiculaire à la ligne *ez*.

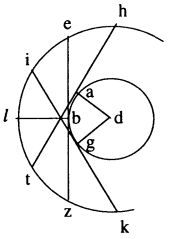


Omnes uero hii misericordia digni sunt, eo quod supergrediuntur ipsam erroris semitam et natant in tenebrositatis ignorantie profunditate, stupefacti sine intentione perueniendi ad finem. Quod si intenderint ad finem peruenire, ignorant quando ad ipsum perueniunt, aut ipsum pertranseunt, aut non perueniunt ad ipsum.

Postquam iam clarent inconuenientia et absurditates que istis accidunt, et ueritas ad quam non pertingunt, ergo nunc ostendemus qualiter supra centrum circuli continentis basim aeris a uisu patientis lumen forte cadat, et supra quod ab hoc centro elongatur lumen debile.

Dico ergo quod locus, qui obuiat pluribus partibus luminosis, plus illuminatur eo qui paucioribus occurrit. Vnaqueque enim partium luminosarum locum, cui obuiat, per se illuminat. Quapropter locus ab eis illuminatus est fortioris luminis ab aliis illuminato, quemadmodum ex candelis contingere uidemus. Locus namque, supra quem cadit unius candele lumen, debilius illuminatur eo supra quem duarum candelarum descendit lumen. Et similiter, quanto plus augmentantur candele loco occurrentes, fortioris existit luminis. Dico ergo quod loco, qui uisus centrum appellatur, plures partes uisus ipsum illuminantes occurrunt, quare supra ipsum fortius cadit lumen.

Cuius exempli causa sit instrumentum uisus, scilicet oculus, circulus *abg*, cuius centrum est *d*. Et sit pars, cui inest potentia comprehendendi uisibile, uidelicet dicta exterior gibbositas oculi, arcus *abg*. Protraham autem *ze* contingentem *b*, que est diuidens arcum *ag* in duo media, et lineam *ht* contingentem notam *a*, que est una duarum finium extrinsece gibbositatis oculi, et lineam *ik* contingentem notam *g*, que est alia extremitas predicte gibbositatis oculi. Et sit corpus, quod conspicitur, arcus *heitzk*, et sit nota, que subest centro uisus, nota *l*, a qua cum producitur linea ad *b*, sit perpendicularis supra lineam *ez*.



26 intenderint *PA* : intenderunt *J* 28 clarent *PA* : darent *J* 31 cadat *PA* : cadit *J* *post* quod *add.* elongatur *A* debile *PJ* : candele *A* 35 illuminatus est fortioris *P* : illuminatus magis est fortioris *A* illuminatur maioris est et fortioris *J* 36 quem *PJ* : que non *A* 38 candele *PJ* : *om. A* 42 sit *PA* : fit *J* 43 est *PA* : *om. J* comprehendendi *PA* : comprehendi *J* 46 duarum *PA* : duorum *J* 47 gibbositatis *PA* : gibbositas *J* 50 sit *PA* : fit *J*

Donc chaque partie de l'arc *ht* est éclairée par la partie *a*. Donc la partie *l* est éclairée par la partie *a*. Chaque partie aussi de l'arc *ik* est éclairée par la partie *g*. Donc *l* est aussi éclairé par la partie *g*. Chaque partie aussi de l'arc *ez* est éclairée par la partie *b*. Donc *l* est aussi éclairé par la partie *b*. Donc la partie *l* est éclairée par les trois parties *a*, *b* et *g*.

L'arc *ei*, d'autre part, est commun à la fois aux deux arcs *ht* et *ez*. Il est donc éclairé à la fois par les deux parties *a* et *b* seulement. De la même façon, on montre que l'arc *zt* est éclairé par les deux parties *g* et *b* seulement.

Quant à l'arc *he*, il est une partie de l'arc *ht* seulement. Il n'est donc éclairé que par la partie *a* seulement. De la même façon, on montre que l'arc *zk* est éclairé par la partie *g* seulement.

Donc le point *l* est éclairé par trois parties, à savoir *a*, *b* et *g*. Mais tout point situé sur les deux arcs *ei*, *tz*, est éclairé par deux parties, comme nous l'avons dit plus haut. Et chacun des deux arcs *he* et *zk* est éclairé par une seule partie, comme nous l'avons dit plus haut. Donc l'éclairement de *l* est plus intense que l'éclairement de chacun des points situés sur les deux arcs *ei*, *zt*. Et l'éclairement des deux arcs *ei*, *zt*, est plus intense que l'éclairement des deux arcs *he*, *zk*. Et à mesure que nous agrandirons la portion de l'arc <considérée, à partir de *l*>, les lieux se succéderont dans un ordre d'éclairement <décroissant> de *l* aux deux points *h* et *k*[34].

On a donc montré[35] que le centre est éclairé plus intensément. Et ce qui en est plus proche est plus éclairé que ce qui en est plus éloigné. Il tombe sur lui, en effet, plus de lumière, c'est-à-dire qu'il est éclairé par un plus grand nombre de parties lumineuses. C'est ce que nous voulions démontrer.

15

Je dis que nécessairement de deux choses l'une : ou bien la passion de l'air sous l'action de la vue et <la passion> de tout ce qui subit l'action de la vue s'effectuent instantanément d'un bout à l'autre de ce <qui pâtit>, une partie n'en précédant pas une autre sur le trajet de la vue ; ou bien les parties pâtissent successivement.

Si une partie pâtit après une autre, alors ou bien la partie qui touche l'organe de la vue pâtit d'abord, et ensuite du fait de cette partie pâtit celle qui la suit, et ainsi de suite de la même façon jusqu'à celle qui en

---

[34] La phrase latine, que nous avons essayé de suivre de près, témoigne d'une grande difficulté à exprimer l'analogie de proportion entre les rapports des distances et les rapports des éclairements : il faut évidemment comprendre que l'intensité de l'éclairement décroît proportionnellement à la distance de *l* au point considéré.

[35] Les mots *iam ergo declaratum est* sont une traduction habituelle, chez Gérard de Crémone, de l'expression *wa-qad tabayyana*, qui se rapporte à une preuve et non à un simple exposé (cf. des exemples nombreux *passim* dans la version latine de l'œuvre de Jābir ibn Aflaḥ citée note 3).

Vnaqueque igitur pars arcus *ht* illuminatur a parte *a*. Pars ergo *l* illuminatur a parte *a*. Vnaqueque etiam pars arcus *ik* illuminatur a parte *g*. Ergo *l* etiam illuminatur a parte *g*. Omnis quoque pars arcus *ez* illuminatur a parte *b*. Ergo *l* etiam illuminatur a parte *b*. Pars ergo *l* illuminatur a tribus partibus *a* et *b* et *g*.

Arcus autem *ei* est communis duobus arcubus simul *ht* et *ez*. Ipse igitur illuminatur simul a duabus partibus *a* et *b* tantum. Cum hac quoque dispositione demonstratur quod arcus *zt* illuminatur a duabus partibus *g b* tantum.

Arcus uero *he* est pars arcus *ht* solum. Non ergo illuminatur nisi a parte *a* tantum. Et secundum hanc dispositionem ostenditur quod arcus *zk* illuminatur tantum a parte *g*.

Nota itaque *l* illuminatur a tribus partibus, *a* uidelicet et *b* et *g*. Omnis uero nota que est in duobus arcubus *ei tz* illuminatur a duabus partibus, sicut premisimus. Et unusquisque duorum arcuum *he* et *zk* illuminatur ab una parte, quemadmodum premisimus. Illuminatio igitur *l* est fortior illuminatione cuiusque note existentis in duobus arcubus *ei zt*. Et illuminatio duorum arcuum *ei zt* fortior existit illuminatione duorum arcuum *he zk*. Et quanto magis protulerimus proportionem arcus, continuabuntur loca in ordine illuminationis *l* ad duas notas *h* et *k*.

Iam ergo declaratum est quod centrum fortius illuminatur, et quod ei propinquius existit magis est illuminatum eo quod ab eo longius existit. Supra ipsum namque plus luminis cadit, scilicet a pluribus luminosis partibus illuminatur. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 15 >

Dico autem impossibile esse quin passio aeris a uisu et omnis a uisu patientis subito fiat ab eius principio usque ad finem, parte non precedente partem usque ad finem itineris uisus, aut sit passio partis post partem.

Quod si pars post partem patitur, tunc aut pars contingens instrumentum uisus patitur prius, et post ab illa parte patitur pars, que ipsam sequitur, et deinceps similiter usque ad ultimum patientem a uisu ; aut pars contingens instrumentum uisus patitur prius, deinde patitur etiam pars, que ipsam sequitur, a uisu, postea pars, que sequitur

53 etiam *PA* : *om. J* 57 hac *PJ* : hanc *A* 58 quoque *PA* : uero *J* 63-65 uidelicet et b et g ... sicut *PJ* : uidelicet et b g ... sicut *mg. m. pr. A* 68 zt *PJ* : tz *A* 70 ordine *PA* : ordinatione *J* ad *PA* : aliquid (*uel* aliud) *J* 72 ei *PJ* : *om. A* 75 illud *PJ* : hoc *A* demonstrare uoluimus *PA* : uoluimus demonstrare *J*

<15>

6-8 uisus ... instrumentum *PA* : *iter. sed m. rec. uerbo* ua / cat *s. l. del. J* 6 prius *PJ* : plus *A* 8 prius *PJ* : plus *A*

dernier lieu pâtit du fait de la vue ; ou bien la partie qui touche l'organe de la vue pâtit d'abord, ensuite la partie qui la suit pâtit aussi du fait de la vue, ensuite la partie qui suit la deuxième pâtit après elle du fait de la vue, et ainsi jusqu'à celle qui en dernier lieu pâtit du fait de la vue, les parties ne pâtissant pas les unes du fait des autres.

Mais si les parties pâtissent les unes du fait des autres, il faut alors que toutes les parties qui entourent la partie qui pâtit d'abord pâtissent aussi, c'est-à-dire toutes celles qui la touchent, et que toutes celles qui touchent celle qui pâtit en second pâtissent aussi du fait de celle-ci, et qu'il en aille toujours ainsi jusqu'à la dernière qui pâtit.

Il suit donc de cela que l'air qui est devant l'organe de la vue, et celui qui est derrière lui ou <derrière> une autre des <parties qui> pâtissent, pâtissent du fait de la vue. En effet, les parties de tout l'univers sont continues entre elles, non séparées. Nécessairement donc, lorsque quelqu'un veut saisir quelque chose par sa vue dans une certaine direction, il voit tout ce qui est dans ce qui pâtit du fait de la vue, c'est-à-dire ce qui est devant lui, et ce qui est derrière lui, et ce qui est dans toutes les directions.

Mais c'est le contraire de cela que l'on constate. Jamais, en effet, nous ne percevons de nos yeux que ce à partir de quoi il est possible de mener une ligne droite jusqu'à la partie de l'œil qui voit. Mais depuis ce qui est derrière nous il est impossible de mener une ligne droite jusqu'à la partie de nos yeux qui voit. Donc ce qui touche ce qui pâtit du fait de la vue ne pâtit pas de son fait.

Si la partie qui touche <l'organe de> la vue pâtit d'abord, puis après elle la deuxième partie, puis après la deuxième la troisième, et toujours ainsi jusqu'à la dernière <partie> qui pâtit, et si cela se produit du fait de la vue et qu'aucune des parties <ne pâtit> du fait de certaines <parties>, il faut que la passion s'effectue dans le temps, puisque certaines <parties> pâtissent après les autres. Il suit donc <de cela> que, quand nous voulons voir une chose séparée de nous par une distance d'une coudée, nous ne la percevons qu'après l'avoir regardée pendant un certain temps, encore que <ce temps> ne soit pas perceptible. Mais un temps court est une partie d'un temps long, ou une partie de sa partie, nécessairement. Il faut donc que, quand notre regard s'étend à <une distance> multiple de cette distance, nous mettions à percevoir un temps dont le rapport au temps <qu'il faut pour> regarder <ce qui est à la distance> d'une aune est égal au rapport de la distance la plus grande à la distance la plus petite. Donc le temps qui sépare la décision de voir et la perception est connu.

Soit par exemple la vue au point *a*, les parties qui pâtissent au point *b*, et la chose regardée au point *g*.

secundam, patitur post eam a uisu, et sic usque ad ultimum patientem a uisu, partibus non patientibus aliis ab aliis.

Si autem partium alie ab aliis patiuntur, oportet tunc ut quecumque partes continent partem primum patientem, patiantur etiam, omnes uidelicet ipsam contingentes, et quecumque contingunt secundo patientem, patiantur etiam ab ea, et ita semper contingat usque ad ultimam patientem.

Sequitur ergo ex hoc ut quod aeris est ante instrumentum uisus, et quod est post ipsum aut aliud patientium, a uisu patiatur. Totius enim mundi partes ad inuicem sunt continue, non diuise. Oportet ergo ut, cum aliquis suo uisu in aliqua parte aliquid comprehendere uoluerit, uideat omnia que sunt in patientibus a uisu, uidelicet quod est ante eum, et quod est post ipsum, et quod est in omnibus partibus.

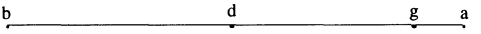
Quod autem inuenitur huius existit contrarium. Numquam enim nostris oculis sentimus, nisi a quo lineam rectam ad partem oculi uidentem protrahi possibile est. Ab eo autem, quod post nos existit, ad partem nostrorum oculorum uidentem lineam rectam produci est impossibile. Non ergo patitur a patiente a uisu, quod ipsum contingit.

Quod si pars contingens uisum patitur primum, deinde secunda post eam, post tertia post secundam, et similiter semper usque ad ultimam patientem, quod tamen a uisu fit, non quedam partium a quibusdam, oportet ut sit passio cum tempore, cum quedam post alias patiantur. Sequitur ergo ut, cum rem aliquam uidere uolumus, cuius spatium a nobis sit unius cubiti, non comprehendamus ipsam, nisi postquam intendimus ad ipsam cum aliquo tempore, licet non sensibili. Paruum autem tempus magni temporis pars existit aut pars partis necessario. Ergo oportet ut, cum nos consideramus secundum multiplex illius spatii, comprehendamus ipsum cum tempore, cuius proportio ad tempus eius, quod consideratur secundum brachium, sit sicut proportio maioris spatii ad minus spatium. Est ergo tempus, quod est inter uoluntatem uidendi et comprehensionem, scitum.

Causa exempli cuius sit uisus apud notam *a*, et partes patientes apud notam *b*, et res, que consideratur, apud notam *g*.

10 *ante* ultimum *add.* infinitum *A* 14 contingunt *PA* : *om. J* 16 ultimam *PA* : ultimum *J* 17 aeris est *J* : *corr. ex* aeris quod est *P* aeris quod est *A* 18 aliud *PJ* : *om. A* 21 est *PA* : *om. J* 25 protrahi *PJ* : pertrahi *A* 29 ultimam *PA* : ultima *J* 33 sit *PJ* : fit *A* 36 consideramus *PJ* : consideremus *A* 38 *post* brachium *add.* id est cubitum *J*

Si donc le temps qui sépare la décision de voir *g* et la perception de *g* n'est pas perçu à cause de sa petitesse, nous dirons : prends un grand nombre de multiples de la distance *ag*, par exemple la distance *ad*. Soit ensuite notre décision de percevoir *d* par la vue. Donc les multiples du temps mis à percevoir *g*, <compris> dans le temps mis à percevoir *d*, sont égaux <en nombre> aux multiples de la distance *ag* compris dans la distance *ad*.



Si donc le temps qui sépare notre décision de voir *d* et la perception de *d* est insensible, et de même si, en prenant plusieurs multiples de la distance *ad*, jusqu'à parvenir au point *b*, il n'y a pas de temps perceptible entre notre décision de voir *b* et la perception de *b*, il ne faut alors pas admettre que la saisie des <objets> visibles prenne du temps, puisque aucun temps n'apparaît <lié> aux parties des <objets> visibles.

En effet, si nous voulions voir ce qui est le plus loin parmi les <objets> visibles, c'est-à-dire ce dont l'éloignement par rapport à nous est celui de la sphère des étoiles fixes, nous ne percevrions aucun temps entre la décision de voir les étoiles fixes <et leur perception>, puisque aussitôt que nous le décidons nous saisissons ce que nous voulons, quand cela est exposé à la vue, c'est-à-dire <placé en face de> son centre, et que le milieu est lumineux, et qu'il n'y a pas d'obstacle entre nous et cet <objet>.

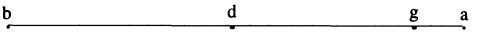
Donc les <objets> visibles ne sont pas perçus au cours d'un <intervalle de> temps. Donc <l'objet> qui pâtit du fait de la vue pâtit immédiatement de son fait, c'est-à-dire que le début <de cet objet pâtit> en même temps que sa fin, et non point au cours d'un <intervalle de> temps. C'est ce que nous voulions démontrer.

16

Puisque nous avons maintenant démontré cela, cherchons la cause pour laquelle le sens de la vue perçoit les divers <objets> dans les miroirs. Avant cela pourtant, nous devons établir <certaines propositions> qui <nous> feront trouver plus facilement la cause cherchée.

Je dis donc : il est nécessaire, en vertu de ce que nous voyons de la réflexion des rayons, que les rayons se réfléchissent, à partir des corps qui les réfléchissent, selon des angles égaux, c'est-à-dire que le rayon partant du <corps> lumineux et la surface du corps qui réfléchit le rayon forment un angle égal à l'angle formé par le rayon réfléchi et par la surface du corps sur lequel se réfléchit le rayon.

Si ergo tempus, quod est inter uoluntatem uidendi *g* ad comprehendendum *g*, non est comprehensum propter sui paruitatem, dicemus: asume spatio *ag* multiplicia multa, sicut spatium *ad*. Postea sit uoluntas nostra comprehendere *d* uisu. Ergo quod in tempore comprehensionis *d* existit ex multiplicibus temporis comprehensionis *g*, equale est ei quod in spatio *ad* ex multiplicibus spatii *ag* existit.



Si ergo tempus, quod est a uoluntate nostra uidendi *d* ad comprehensionem *d*, est non apparens et similiter, si acceperimus spatio *ad* plura multiplicia, donec perueniant ad notam *b*, non sit uoluntatis nostre uidendi *b* ad comprehensionem *b* tempus manifestum, tunc non oportet concedi comprehensionem uisibilium cum tempore fieri, postquam partibus uisibilium non apparet tempus.

Nos enim, si uidere uellemus quod est in postremo loco uisibilium, scilicet cuius elongatio a nobis est quod est in orbe stellarum fixarum, non appareret nobis inter uoluntatem uidendi stellas fixas tempus, quoniam cum uoluntate comprehendimus quod uolumus, cum subest uisui, scilicet centro eius, et medium est luminosum, non existente obstaculo inter nos et ipsum.

Visibilia igitur cum tempore non comprehenduntur. Patiens ergo a uisu subito ab eo patitur, eius uidelicet principium cum eius fine, et non in tempore. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 16 >

Quia ergo huius declarationem iam premisimus, inuestigemus causam qua sensus uisibilis singularia in speculis comprehendit. Prius tamen ante hoc, quo huius cause inuentio facilior fiat, premittamus.

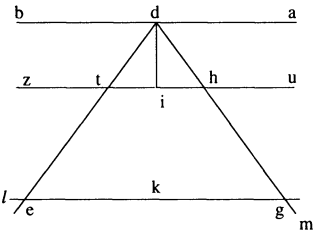
Dico igitur quod necesse est ut, per hoc quod uidemus de conuersione radiorum, conuertantur radii a corporibus, a quibus conuertuntur, secundum angulos equales, scilicet ut proueniat ex radio egrediente a luminoso et superficie corporis, a quo radius conuertitur, angulus equalis angulo qui prouenit ex radio conuerso et superficie corporis supra quod conuertitur radius.

45 sit *PA* : sint *J* 47 d *PJ* : cl *A* 47-48 existit .. ei *PA* : *mg. m. rec. J* 48 est *PJ* : *om. A* 50 et similiter *PJ* : similiter et *A* 51 perueniant *PA* : peruenient *J* notam *AJ* : nota *P* non *PA* : si non *J* 52 ad comprehensionem b *PJ* : *om. A* 57 appareret *P* : apparet *A* apparent *J* inter uoluntatem *PA* : in uoluntate *J* 63 in *PA* : *om. J* uoluimus *PA* : uolumus *J*

<16>

1 huius *PA* : illius *J* 6 equales *Björnbo* : rectos *PAJ*

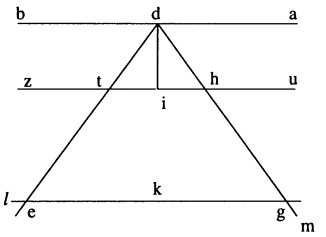
Soit, par exemple, la ligne *ab* un corps poli réfléchissant un rayon ; <soit> au point *g* un corps lumineux d'où part le rayon ; <soit> *d* le point de la surface *ab* sur lequel tombe le rayon ; et <soit> *de* le rayon réfléchi à partir de *d*. Je dis que l'on trouve l'angle *adg* égal à l'angle *edb*, en vertu de ce que je vais démontrer.



Disposons un corps poli et posons que sa surface passe par la ligne *ab* ; plaçons vis-à-vis de la surface du corps *ab* une planche passant par la ligne *uz* ; menons du point *d* de la ligne *ab* la perpendiculaire à la ligne *uz*, et soit *di* cette perpendiculaire ; pratiquons un trou rond dans la planche *uz*, là où *gd* la coupe, et désignons par le point *h* l'endroit du trou ; pratiquons sur la ligne *iz* un second trou rond égal au trou *h*, qui soit éloigné du point *i* autant que *h* est éloigné du point *i*, et désignons-le par le point *t* ; plaçons vis-à-vis de la planche *uz* la planche *kl* parallèle à la planche *uz*. Alors le rayon partant de *g* tombera sur le point *d*, il se réfléchira selon la ligne *dt*, et il tombera sur le point *e* de la planche *kel*. Or la ligne *hi* est égale à la ligne *ti*. Soit *id* la perpendiculaire commune aux deux lignes *ab*, *uz*. Les deux angles *hid*, *tid*, sont donc droits. Donc les deux lignes *hd*, *dt*, sont égales. Donc les deux angles *dhi*, *dti*, sont égaux. Or les lignes *ab* et *uz* sont parallèles, et on sait que les lignes *dh*, *dt*, tombent sur elles. Donc les angles alternes internes sont égaux. Donc l'angle *adh* est égal à l'angle *dhi*. Donc l'angle *adh* est égal à l'angle *dti*. Or l'angle *dti* est égal à l'angle *bdt*. Donc l'angle *bdt* est égal à l'angle *adh*.

Ainsi donc on trouve que l'angle formé par le rayon et par le corps qui réfléchit le rayon, et l'angle formé <par ce corps et> par le rayon réfléchi, sont égaux, comme nous l'avons dit plus haut.

Verbi gratia sit corpus tersum conuertens radium linea *ab*, et corpus luminosum, a quo egreditur radius, apud notam *g*, et nota superficiei *ab*, supra quam cadit radius, *d*, et radius conuersus a *d* radius *de*. Dico igitur quod angulus *adg* inuenitur equalis angulo *edb* per hoc quod ostendam.



Quod est, si preparauerimus corpus tersum, et posuerimus eius superficiem transeuntem per lineam *ab*, et obuiauerimus cum tabula transeunte per lineam *uz* superficiei corporis *ab*, et produxerimus a nota *d* linee *ab* perpendicularem ad lineam *uz*, que sit perpendicularis *di*, et fecerimus in tabula *uz* foramen rotundum, ubi est sectio *gd*, et signauerimus foraminis locum nota *h*, et fecerimus foramen secundum rotundum equale foramini *h* in linea *iz*, cuius longitudo a nota *i* sit sicut longitudo *h* a nota *i*, et signauerimus ipsum nota *t*, et obuiauerimus tabule *uz* cum tabula *kl* equidistante tabule *uz*, cadet radius egrediens a *g* supra notam *d*, et conuertetur super lineam *dt*, et cadet super notam *e* tabule *kel*. Linea uero *hi* est equalis linee *ti*. Sitque *id* communis que est perpendicularis super duas lineas *ab uz*. Duo ergo anguli *hid tid* sunt recti. Ergo due linee *hd dt* sunt equales. Ergo duo anguli *dhi dti* sunt equales. Linee uero *ab* et *uz* sunt equidistantes, et iam ceciderunt super eas due linee *dh dt*. Ergo anguli coalterni sunt equales. Ergo angulus *adh* est equalis angulo *dhi*. Angulus igitur *adh* equatur angulo *dti*. Angulus uero *dti* est equalis angulo *bdt*. Ergo angulus *bdt* est equalis angulo *adh*.

Iam ergo reperiuntur anguli, qui proueniunt ex radio et corpore, a quo conuertitur radius, et radio conuerso, equales, quemadmodum premisimus.

11 nota *PJ* : notato *A* 12 d et radius *PA* : *mg. m. rec. J* 13 igitur *PA* : ergo *J* 15 tersum *PJ* : tensum *A* 21-22 a nota ... ipsum *PA* : *mg. m. rec. J* 23 equidistante *P* : equidistantem *AJ* 25 kel *K Björnbo* : del *PAJ* hi *Björnbo* : hg *PA* hd *J* ti *Björnbo* : tg *PA* td *J* 26 tid *PA* : *mg. m. rec. J* 27 ergo (*ante* due) *PJ* : et *A*

Si donc le corps lumineux est avancé le long de <la ligne> *gd*, ou s'il est reculé le long d'une ligne qui prolonge la ligne *gd*, telle que la ligne *gm*, le rayon tombera sur le point *e* sans dévier vers la droite ni vers la gauche ; même si le trou *t* est déplacé vers le point *e* ou s'il en est éloigné, le rayon *gd* ne cessera jamais de passer par le trou *t*. Donc le rayon partant d'un corps lumineux vers un corps poli, le <rayon> réfléchi par le corps poli, et la surface du corps poli plan, c'est-à-dire la surface plane d'où toute ligne qui part est égale <aux autres sous un certain rapport>, forment des angles égaux. C'est ce que nous voulions démontrer.

17

Puis donc que l'air subit de la part de la vue une passion semblable à celle que produisent les parties d'un <corps> lumineux, c'est-à-dire puisque le rayon se propage selon la rectilinéarité des lignes droites, alors le rayon produit par la vision est réfléchi aussi par les corps polis selon des angles égaux.

Si nous suivons nous aussi les traces de la nature, nous verrons qu'il en est ainsi. Nous trouverons, en effet, que le mouvement naturel est un mouvement simple, non composé, c'est-à-dire <un mouvement> soit circulaire, soit rectiligne. Mais nous ne trouverons pas non plus de <mouvement> rectiligne composé à la fois d'un <mouvement> rectiligne et d'un <mouvement> circulaire. Cependant on distingue dans le <mouvement> rectiligne un commencement et une fin. Il faut donc que le commencement de l'un d'eux succède à la fin d'un autre, et que la fin de celui-ci soit au commencement de cet autre. Donc le mouvement naturel rectiligne n'est pas composé, c'est-à-dire qu'il n'est pas composé de deux <mouvements> simples à la fois, mais il est simplement un mouvement un.

Posons donc que la ligne *ab* est la surface du miroir qui réfléchit le rayon, que le point *g* est le lieu de la vue, que le point *d* est le point de la surface *ab*, sur lequel tombe le rayon ; menons à partir de *d* la ligne *de* du côté de la ligne *ab* où se trouve le point *g*, et construisons l'angle *gda* égal à l'angle *edb* ; alors, si nous imaginons que le rayon *gd* suit une ligne droite et coupe la ligne *adb*, comme <le fait> la ligne *gdu*, et si nous faisons la ligne *du* égale à la ligne *de*, il est clair que les deux angles *adg*, *udb*, sont égaux, parce qu'ils sont opposés <par le sommet>.

Si ergo corpus luminosum precedat supra *gd* aut subsequatur supra lineam directe coniunctam linee *gd*, sicut linea *gm*, radius cadet supra notam *e* non declinans ad dextram neque ad sinistram; etiam si foramen *t* a loco suo uersus *e* moueatur, aut ab eo elongetur, non remouebitur radius *gd* umquam a foramine *t*. Ex radio igitur egrediente a luminoso corpore ad corpus tersum et ex conuerso a corpore terso et superficie corporis tersi equalis, id est superficie equali, in qua omnis linea egrediens est equalis, proueniunt anguli equales. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 17 >

Postquam igitur aer patitur a uisu passionem similem casui partium luminosi, scilicet quia prouenit radius secundum rectitudinem rectarum linearum, tunc radius factus a uisu conuertitur etiam a corporibus tersis secundum equales angulos.

Nos quoque, si nature uestigia imitauerimus, hoc ita esse inueniemus. Inueniemus enim motum naturalem motum simplicem non compositum, uidelicet aut circularem aut rectum. Sed nec etiam rectum inueniemus compositum ex recto et circulari simul. Rectus tamen diuersificatur secundum principium et finem. Oportet ergo ut sit alicuius eorum principium ex fine alterius, et finis eius sit apud principium illius alterius. Motus ergo naturalis rectus etiam non est compositus, uidelicet non est compositus ex duobus simplicibus simul, sed est unus tantum motus.

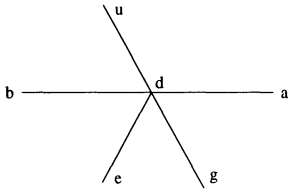
Si ergo posuerimus superficiem speculi, a quo radius conuertitur, lineam *ab*, et locum uisus notam *g*, et notam superficiei *ab*, supra quam cadit radius, notam *d*, et protraxerimus a *d* lineam *de* ad partem linee *ab* in qua est nota *g*, et fecerimus angulum *gda* equalem angulo *edb*, tunc si ymaginauerimus radium *gd* euntem secundum rectitudinem et secantem lineam *adb*, sicut linea *gdu*, et fecerimus lineam *du* equalem linee *de*, manifestum erit quod duo anguli *adg udb* sunt equales, quoniam sunt oppositi.

38 *ante* non *add.* et *A* 39 e *J* : i *PA* 40 umquam *PA* : nunquam *J* 43 illud *PJ* : hoc *A*

<17>

10-11 et finis ... alterius *PJ* : *mg. m. pr. A* 10 apud principium *PA* : principium aput *J* 15 locum *PA* : locus *J*

Si donc nous imaginons la ligne *ab* comme un axe fixe en son lieu, c'est-à-dire que ses extrémités sont fixes aux deux points *a* et *b*, et si elle se meut autour des deux pôles *a* et *b*[36] en sorte que la ligne *du* se déplace vers le côté de la ligne *ab* où est le point *g*, la ligne *du* se superposera à la ligne *de* et le point *u* coïncidera avec le point *e*. On le prouve de la manière suivante.



Puisque l'angle *udb* est égal à l'angle *edb*, étant donné que *edb* est égal à *adg*, et puisque la ligne commune *db* ne s'écarte pas de son lieu, alors, quand la ligne *du* tourne autour de l'axe *db* en sorte que l'angle *udb* aille du côté de *e*, <cet angle> se superpose à l'angle *edb*, la ligne *ud* s'applique sur la ligne *ed*, et le point *u* coïncide avec le point *e*, puisque la ligne *ud* est égale à la ligne *ed*, que l'angle <*udb*> est égal à l'angle <*edb*>, et que la ligne *db* est commune aux deux <angles>.

Si l'angle <*udb*> ne se superpose pas à l'angle <*edb*>, alors la ligne *db* s'écarte de son lieu, en allant vers le point *u* ou vers le point *e*, ou en allant d'une autre façon vers le haut ou vers le bas. Donc non seulement le rayon est réfléchi, mais en outre, en même temps que le rayon est réfléchi, la surface du miroir s'écarte de son lieu, là où le rayon tombe sur <le miroir>. Mais la surface du miroir ne se meut pas parce qu'un rayon tombe sur elle. Cela, en effet, est étranger à la nature. Or le mouvement du rayon est naturel. Donc ce <mouvement> est un, simple, non composé.

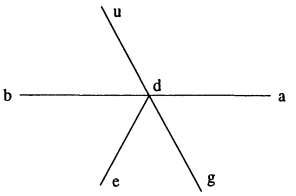
Donc la ligne *ud* ne se déplace que du côté de *e* seulement, et l'angle <*udb*> ne s'écarte pas <de son lieu>[37]. Il se superpose donc à l'angle *bde*, comme nous l'avons dit plus haut. Il arrivera donc que le rayon qui, s'il était prolongé en ligne droite, suivrait la ligne *gdu*, se réfléchisse à partir du point *d* sur la ligne *de*. Donc l'angle *adg* est égal à <l'angle> *bde*. C'est ce que nous voulions démontrer.

---

[36] L'expression *moveatur super duos polos* a *et* b est la manière traditionnelle de décrire, en astronomie, la rotation de la ligne *ab* autour de son propre axe, et c'est aussi la manière de décrire la rotation d'une sphère autour de la ligne joignant ses pôles *a* et *b* (voir, par exemple, *passim* dans Jābir ibn Aflaḥ, cité note 3).

[37] Par l'expression *neque angulus movetur*, il faut évidemment comprendre que, puisque le miroir reste immobile, le sommet de l'angle *udb* reste fixe en *d* et que le côté *bd* tourne sur lui-même sans s'écarter de la surface du miroir, comme il vient d'être montré.

Si ergo ymaginauerimus lineam *ab* sicut meguar fixum in loco suo, scilicet quod fines eius sint fixe apud duas notas *a* et *b*, et moueatur super duos polos *a* et *b*, donec moueatur linea *du* ad partem linee *ab*, in qua est nota *g*, cooperiet linea *du* lineam *de*, et cadet nota *u* supra notam *e*. Quod sic probatur.



Quia angulus *udb* est equalis angulo *edb*, quoniam *edb* equatur *adg*, et linea *db* communis non remouetur a loco suo, tunc quando uoluitur linea *du* super meguar *db*, donec moueatur angulus *udb* ad partem *e*, cooperit angulum *edb*, et stat linea *ud* super lineam *ed*, et cadit nota *u* supra notam *e*, quoniam linea *ud* est equalis linee *ed*, et angulus est equalis angulo, et linea *db* est communis utrisque.

Quod si angulus non cooperit angulum, tunc linea *db* mouetur de loco suo, eundo ad notam *u* aut ad notam *e* aut aliter eundo sursum aut deorsum. Non ergo radius solus conuertitur, sed et superficies speculi remouetur simul cum conuersione radii a loco suo, ubi supra ipsum cadit radius. Sed superficies speculi non mouetur propter casum radii supra ipsum. Hoc namque extra naturam est. Motus autem radii est naturalis. Ipse ergo est motus unus simplex, non compositus.

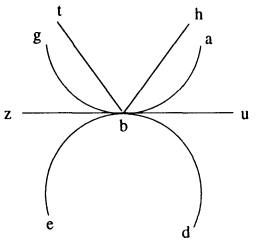
Non ergo mouetur linea *ud* nisi ad partem *e* solum, neque angulus mouetur. Ipse ergo cooperit angulum *bde*, quemadmodum premisimus. Erit ergo ut radius qui, si directe protenderetur, iret secundum lineam *gdu*, conuertatur a nota *d* supra lineam *de*. Est ergo angulus *adg* equalis *bde*. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

23 fixe *PA* : fixi *J* moueatur *PJ* : mouentur *A* 25 linea du lineam de *P* : linea de *A* linea db lineam de *J* 28 remouetur *PJ* : remoueatur *A* 29 du *J* : db *PA* 35 superficies *PJ* : super eius *A* 38-39 est naturalis *PA* : naturalis *J* 42 iret *PA* : *corr. mg. m. rec. ex* nec *J* 43 supra *PA* : super *J* 44 demonstrare *PA* : monstrare *J*

18

En outre tout rayon réfléchi par la partie extérieure d'une sphère ou par la courbure intérieure d'une sphère se réfléchit selon des angles égaux.

Posons, par exemple, deux sphères *abg*, *dbe*, tangentes au point *b*. Menons par *b* la ligne *ubz*, qui ne coupe aucune des deux sphères. Posons la vue au point *h*. Et que le rayon *hb* soit réfléchi du point *b* au point *t*.



L'angle *hbu* est donc égal à l'angle *tbz*. Or l'angle *abu* est égal à l'angle *gbz*. Il reste donc que l'angle *abh* est égal à l'angle *gbt*. En outre, l'angle *dbu* est égal à l'angle *ebz*. Donc l'angle total *dbh* est égal à l'angle total *ebt*. Donc les deux angles *hba*, *tbg*, qui résultent de la réflexion du rayon sur la courbure intérieure de la sphère, sont égaux.

De même les deux angles *hbd*, *tbe*, qui résultent de la réflexion du rayon sur la partie extérieure de la sphère, sont égaux. C'est ce que nous voulions démontrer.

Il est donc clair maintenant que les rayons visuels et non visuels sont réfléchis selon des angles égaux par les surfaces planes et <par les surfaces> sphériques, c'est-à-dire par leur courbure concave et par leur courbure extérieure. C'est ce que nous voulions démontrer.

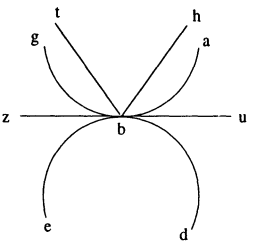
19

Cherchons donc maintenant pourquoi la vue saisit, au moyen des miroirs, des choses qui ne sont pas en droite ligne avec elle.

< 18 >

Omnis quoque radius a parte spere apparente et a gibbositate spere intrinseca conuersus secundum equales conuertitur angulos.

Verbi gratia ponam duas speras *abg dbe* sese supra punctum *b* contingentes. Et protraham lineam *ubz* super *b* nullam duarum sperarum secantem. Et ponam uisum notam *h*. Et radius *hb* conuertatur a nota *b* supra notam *t*.



Angulus igitur *hbu* est equalis angulo *tbz*. Sed angulus *abu* equatur angulo *gbz*. Restat ergo ut angulus *abh* sit equalis angulo *gbt*. Angulus quoque *dbu* est equalis angulo *ebz*. Ergo totus angulus *dbh* toti angulo *ebt* equalis existit. Duo ergo anguli *hba tbg*, qui fiunt ex conuersione radii a gibbositate spere intrinseca, sunt equales.

Et similiter duo anguli *hbd tbe*, qui fiunt ex conuersione radii a parte spere manifesta, sunt equales. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

Iam ergo manifestum est quod radii uisibiles et non uisibiles conuertuntur secundum equales angulos a superficiebus rectilineis et spericis, uidelicet a gibbositate earum concaua et ab apparente gibbositate earum. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 19 >

Nunc itaque inuestigemus causam qua uisus per specula comprehendit res a sui rectitudine remotas.

<18>

1 a (*post* et) *PJ* : *om. A* 5 h *J* : u *PA* 8-9 angulus quoque ... ebz *PJ* : *mg. m. pr. A* 10 fiunt *PA* : sunt *J* 14-17 iam ... uoluimus *PJ* : *om. A* 15 equales *Björnbo* : rectos *PJ*

Je dis donc qu'un discours attentif à suivre la nature, à propos de la saisie des divers objets au moyen de miroirs, énoncera que de trois choses l'une : ou bien les rayons qui subissent l'action de la vue sont réfléchis par les miroirs vers les choses saisies au moyen des miroirs, et sur lesquelles sont les bases des rayons, et la vue saisit ces <choses> comme lorsqu'elle saisit au moyen d'un rayon qui subit son action et se dirige vers <l'objet> visible sans intermédiaire ; ou bien les formes des choses saisies par la vue par l'intermédiaire des miroirs s'impriment dans les miroirs, et un rayon qui subit l'action de la vue tombe sur elles, et la vue les saisit comme lorsqu'elle saisit sans intermédiaire ; ou bien ces deux causes jouent ensemble.

Si les formes des <objets> visibles s'impriment dans les miroirs, alors c'est ou bien parce que la forme se déplace jusqu'à ce qu'elle rencontre le miroir et s'y imprime, ou bien parce qu'une impression obscure[38] tombe sur le miroir, comme nous voyons que cela arrive aux corps quand ils sont placés dans la lumière et projettent des ombres.

Mais si la forme s'imprime dans le miroir de cette manière, c'est-à-dire par impression obscure, alors ce qui est perçu dans le miroir ne peut être que la forme seulement, et non la couleur, ni le détail[39], ni le reflet du lieu. Mais c'est le contraire qui est perçu. Nous percevons, en effet, dans le miroir la couleur de ce qui est perçu, la situation de ses parties, son mouvement, c'est-à-dire ses effets et ses détails. Donc la forme de ce qui est perçu par l'intermédiaire du miroir ne s'imprime pas dans le miroir par impression obscure.

Si les formes se déplacent de <l'objet> sensible vers le miroir et s'impriment en lui, le résultat est le même que si les formes se déplacent à partir des <objets> sensibles sans l'intermédiaire des miroirs, comme nous l'avons montré ; et <il en résulte> en outre que dans les miroirs nous verrions notre dos et non notre visage, puisque le devant des <formes> qui se déplacent, qui se présente à la vue de celui qui regarde, est <leur> arrière ; ou bien on verrait tantôt le devant, tantôt l'arrière, et tantôt ce serait le contraire, si l'on pense que les formes se déplacent de façons diverses et que le mouvement se propage[40] jusqu'à ce qu'il rencontre le miroir, car, en raison des diverses distances qui séparent les

---

[38] L'expression *impressio tenebrosa* employée par Gérard (dont nous avons conservé l'équivoque) est commentée par la suite même du texte : il s'agit d'une impression comparable à l'ombre projetée d'un corps, qui n'en révèlerait donc que la forme.

[39] Le mot latin *divisio* est vraisemblablement la traduction maladroite par Gérard d'une forme de la racine arabe *juz'*, qui désigne effectivement la division, mais dont un dérivé comme *juz'iyāt* signifie "détails" : d'où la traduction que nous avons adoptée.

[40] Le mot latin *inundet* sert vraisemblablement à caractériser un mouvement qui se déploie progressivement de façon continue en occupant tout l'espace disponible (cf. l'emploi de *inundans* dans un sens analogue à propos de l'air, plus haut note 23). L'examen d'autres traductions de Gérard permettrait peut-être de trouver à quel terme arabe le mot latin correspond, et quelle est l'acception précise de celui-ci.

Dico ergo quod sermo, secundum nature semitam procedens de comprehensione singularium per specula, est quod impossibile est quin aut radii a uisu patientes conuertantur a speculis ad res per specula comprehensas, super quas fiant bases radiorum, et comprehendat eas uisus, sicut comprehendit per radium ab eo patientem ad uisibile egredientem absque medio, aut forme rerum uisu comprehensarum mediantibus speculis sigillentur in speculis, et cadat super eas radius a uisu patiens et comprehendat eas uisus, quemadmodum comprehendit sine medio, aut hae due cause sint simul.

Quod si forme uisibilium in speculis sigillantur, tunc aut illud est quia forma currit, donec contingat speculum et sigilletur in eo, aut quia super speculum impressio tenebrosa occurrit, quemadmodum corporibus accidere cernimus, cum in lumine preparantur et iaciunt umbras.

Si autem forma in speculo secundum hunc modum sigillatur, scilicet impressione tenebrosa, tunc non oportet nisi ut quod in speculo sentitur, sit figura tantum, et non sit color neque diuisio neque loci impressio. Quod autem sentitur huius contrarium est. Sentimus enim in speculo colorem eius quod sentitur, et situm partium ipsius et motum eius, eius scilicet effectus et ipsius diuisiones. Eius ergo quod mediante speculo sentitur, forma non sigillatur in speculo sigillatione tenebrosa.

Quod si forme a sensibili ad speculum currunt et sigillantur in eo, sequitur ex hoc quod sequitur, si forme a sensibilibus non mediantibus speculis currunt, quemadmodum ostendimus, et etiam ut in speculis posteriora nostra et non facies nostras uideamus, quoniam antecedens currentium, quod occurrit uisui aspicientis, fit postremum, aut ut quandoque uideatur antecedens, et quandoque subsequens, et quandoque e contrario huius, si extimant quod forme secundum diuersitatem currant, et quod motus inundet, donec occurrat speculo, quoniam propter spatia diuersa, que sunt inter specula et ea que eis opposita considerantur, oportet ut que ad ea currunt, obuient eis secundum spatia diuersa.

3 ergo *PJ om. A* 5 a uisu *PA* : uisu *J* 9 sigillentur *PA* : sigilletur *J* 14 speculum *PA* : *mg. m. rec. J* 15 in lumine *PJ* : illumine *A* 19-20 sit figura ... sentitur *PJ* : *mg. m. pr. A* 24 quod *PA* : idem *J* 27 antecedens *PA* : attendens *J* 29 antecedens *PA* : attendens *J* 30 forme secundum *PA* : secundum forme *J* 31 inundet *PA* : mundus *J* 32 propter spatia *PA* : spatia propter *J*

miroirs des <choses> considérées qui se trouvent en face d'eux, il faut que les choses qui se déplacent vers <les miroirs> les rencontrent <différemment> selon leurs diverses distances.

Mais c'est le contraire qui est perçu. En effet, nous voyons toujours notre visage dans les miroirs placés en face de nous, à quelque distance que ce soit, et nous ne percevons pas d'autre façon.

En outre, ce qui se déplace vers un miroir ne s'imprimerait que dans un miroir qui pourrait recevoir la grandeur de sa figure.

Mais c'est le contraire qui est perçu. Nous voyons, en effet, <un objet> dont la figure a une grande dimension dans un miroir qui est de petite dimension par rapport à cet <objet> ; et nous constatons que dans des miroirs de formes différentes le même <objet> a des grandeurs différentes tout en étant à la même distance.

En outre, ce qui se déplace vers le miroir ne s'imprimerait en lui qu'en sa surface et non en son <épaisseur> corporelle. Mais nous verrions <alors> clairement le corps hors du miroir, c'est-à-dire <que nous verrions> les limites de sa courbure touchant la surface <du miroir>, vers laquelle on voit sa forme se déplacer.

Mais nous ne voyons jamais cela en aucun miroir ; et nous ne voyons pas seulement la surface des corps, mais nous les voyons dans le miroir avec leur <épaisseur> corporelle, selon leurs propres figures, douées de profondeur, non altérées. Et nous voyons entre eux et la surface du miroir des espaces égaux à <l'intervalle> qu'il y a entre le <corps>, dont la forme est perçue dans le miroir, et la surface du miroir. En outre, nous voyons l'impression, qui remplit tout cet intervalle, selon une longueur égale à la longueur de cet <intervalle>.

En outre, ne s'imprimeraient pas dans le miroir des choses dont la somme de leurs mesures, qui sont perçues dans le miroir, serait beaucoup plus grande que la surface du miroir. Or il se peut que d'un seul regard nous voyions beaucoup de corps dans un miroir petit en comparaison de ce qui y est vu ; ainsi, quand nous voyons dans un miroir cent soldats debout dont chacun est vu avec toute sa taille, non dans sa grandeur <réelle>, <mais> rapetissé, par le diamètre d'un miroir d'une palme ou de moindre mesure, comme celui qui par un petit trou considère l'étendue du corps de la terre, et voit beaucoup d'objets divers dont le moindre est plus grand que le trou.

Nécessairement aussi nous verrions la forme d'une même chose en plusieurs lieux du même miroir, comme on la voit dans des miroirs multiples dont la somme des diamètres est égale au diamètre de <ce> seul miroir. En effet, si la forme se déplace vers chacun de ces miroirs, alors elle se déplace vers celui dont le diamètre est égal à <la somme> des diamètres de ces miroirs multiples.

Quod autem sentitur huius existit contrarium. Nos enim facies nostras semper uidemus in speculis nobis oppositis secundum quelibet spatia, neque aliter sentimus.

Et etiam non sigillarentur ad speculum currentia, nisi in eo quod figure eius magnitudinem reciperet.

Quod autem sentitur huius est contrarium. Reperimus enim quod in figura sui magne existit quantitatis in speculo quod est parue quantitatis apud ipsum, et reperimus ipsum in speculis diuersarum figurarum secundum spatium unum diuersarum quantitatum.

Neque etiam in speculo ad ipsum currentia sigillarentur nisi superficialiter et non corporaliter. Sed uideremus corpus manifeste extra speculum, scilicet fines gibbositatis eius tangentes eius superficiem, apud quam eius forma ad ipsum currens reperitur.

Hoc autem numquam in aliquo speculorum uidemus, neque superficialiter solum, sed uidemus corpora in speculo corporaliter secundum figuras suas habentia profunditatem, non alterata. Et uidemus inter ea et superficiem speculi spatia equalia ei quod est inter id, cuius forma in speculo sentitur, et superficiem speculi. Et etiam uidemus impressionem, que est in toto illo spatio, secundum longitudinem equalem longitudini ipsius.

Neque etiam in speculo sigillarentur res, agregatio mensurarum quarum que in speculo sentiuntur esset maior superficie speculi multis uicibus. Nos enim fortasse uno uisu multa uidemus corpora in speculo paruo, cum comparatum fuerit ad ea que in eo uidentur, sicut cum uidemus centum milites in speculo uno stantes, quorum unusquisque cum sua quantitate perfecta uidetur, non in quantitate sua, diminutus diametro speculi unius palmi aut minoris mensure, sicut ille qui per paruum foramen corporis terre latitudinem considerat, et uidet singularia plura quorum minus foramine maius existit.

Oportet etiam ut uideamus in speculo uno unius rei formam in locis pluribus, quemadmodum in multis speculis uidetur, quorum diametri, cum coniunguntur, sunt equales diametro unius speculi. Si enim forma ad unumquodque eorum currit, tunc ipsa currit ad illud cuius diametrus est equalis diametris illorum plurium speculorum.

39 magnitudinem *PJ* : magnitudine A 40 est contrarium *PA* : contrarium est *J* 41 magne *PA* : magnitudine *J* 55-56 mensurarum quarum que *P* : quarum mensurarum que A mensurarum que *J* 58 comparatum *PA* : coram paratum *J* 61 per *PA* : *om. J* 64 uno PA : *om. J* 66 si enim forma... *PAJ* : *gloss.* uult quod totiens uideatur forma in speculo magno quot sunt specula parua *add. mg. m. pr. P gloss.* sensus (?) est quod totiens uideatur forma in speculo magno quot sunt in eo specula parua *add. mg. m. pr. (?) J*

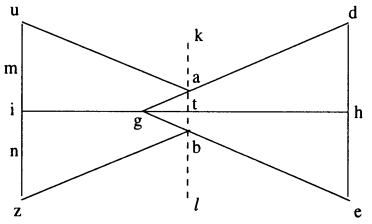
Mais c'est le contraire qui est perçu : on ne trouve dans un même miroir qu'une forme unique d'une même chose, que le miroir soit grand ou petit.

Il est possible encore qu'en plus de celles que nous avons mentionnées beaucoup d'autres absurdités résultent de cette <hypothèse>. Toutefois, dans ce que nous avons dit, il y a assez pour prouver la fausseté de ce dont nous voulons démontrer la fausseté.

Si les formes se déplacent vers les miroirs et s'impriment en eux, et si le rayon est réfléchi vers les <objets> visibles et les saisit, il faut en conséquence qu'on voie dans le miroir deux formes d'une même chose, l'une étant celle que saisit le rayon réfléchi, l'autre celle qui est imprimée dans le miroir. Et il y a dans celle qui est imprimée dans le miroir toutes les choses qui sont nécessairement, comme nous l'avons dit, imprimées dans le miroir. Mais c'est le contraire qui est perçu.

La seule possibilité restante est donc que les <objets> visibles ne soient saisis par l'intermédiaire des miroirs que par une réflexion qui va des miroirs vers les <objets> visibles, et par l'incidence sur les <objets> visibles des bases des rayons réfléchis, de même que la vue saisit sans intermédiaire au moyen d'un rayon produit par elle. Nous trouvons de cela une <preuve> sensible dans la démonstration que nous allons donner.

La voici : dressons devant nous un miroir dont la surface soit coupée orthogonalement par l'horizon[41] ; soit la ligne *ab* <ce miroir> ; plaçons au point *g* le lieu de la vue, d'où part une perpendiculaire vers la surface du miroir. Menons à partir du point *g* deux lignes égales passant par les deux points *a* et *b*, à savoir les deux lignes *gad*, *gbe* ; joignons *d* et *e* par la ligne *de* ; menons à partir de *g* une ligne qui soit perpendiculaire au miroir en son milieu, qui aille jusqu'à la ligne *de* et qui la divise au point *h* en deux parties égales. Marquons par le point *t* l'endroit où elle coupe le diamètre <du miroir>, et prolongeons la ligne *tg* en ligne droite du point *g* jusqu'au point *i*. Posons *ti* égal à *th*. Puisque la ligne qui tombe au centre du miroir divise la ligne *ab* en deux parties égales, alors les deux lignes *ab*, *de*, sont parallèles.



[41] Par le mot *orizon*, il faut entendre naturellement le plan horizontal de l'horizon.

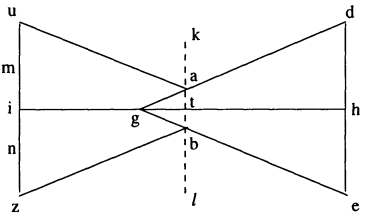
Quod autem sentitur huius est contrarium, scilicet non reperitur in speculo uno unius rei nisi forma una, siue speculum sit magnum siue paruum.

Possibile est preterea ut hoc multa inconuenientia preter ea que diximus sequantur. In eis tamen, que diximus, sufficientia existit ad declarandam falsitatem eius cuius uolumus falsitatem demonstrare.

Quod si forme ad specula currunt et sigillantur in eis, et radius conuertitur ad uisibilia et comprehendit ea, oportet ex hoc ut in speculo unius rei due forme uideantur, quarum una sit ea quam comprehendit radius conuersus, et altera ea que in speculo sigillatur. Et sunt in ea, que in speculo sigillata est, omnia necessaria, que prediximus, insigillata in speculo. Quod autem sentitur huius est contrarium.

Non ergo restat nisi ut uisibilia non comprehendantur mediantibus speculis, nisi per conuersionem a speculis ad uisibilia et casum basium radiorum conuersorum super uisibilia, sicut uisus comprehendit sine medio per radium ab eo factum. Hoc autem sensibiliter inuenimus per id quod ostensuri sumus.

Et hoc est ut ponamus speculum ante nos erectum, cuius superficiem orizon orthogonaliter secet, sicut linea *ab*, et ponatur locus uisus, a quo ad superficiem speculi perpendicularis egreditur, sicut nota *g*. Et protrahamus a nota *g* duas lineas per duas notas *a* et *b* transeuntes equales, sicut due linee *gad gbe*, et coniungamus *d* et *e* linea *de*, et producamus a *g* lineam, que sit perpendicularis super medium speculi, et perueniat ad lineam *de*, et partiatur ipsam in duo media supra notam *h*. Et signemus locum, ubi secat diametrum, nota *t*, et producamus lineam *tg* a nota *g* directe ad notam *i*. Et ponamus *ti* equalem *th*. Et quia linea cadens supra centrum circuli diuidit lineam *ab* in duo media, tunc due linee *ab de* sunt equidistantes.



72 preter *PA* : propter *J* 74 falsitatem eius PA : eius falsitatem J 75 quod *PA* : idem *J* 78 altera *PA* : alteram *J* 92 perueniat *PA* : proueniat *J* 93 diametrum *PA* : diameter *J*

Si donc nous plaçons au point *i* le point qui divise le corps *uz* en deux parties égales[42], et si l'on fait *uz* parallèle à la ligne *ab*, la vue étant là où est le point *g*, et si l'on joint le point *u* au point *a* et le point *z* au point *b*, <ces lignes> n'iront ni en deçà d'eux <i. e. les points *a* et *b*> ni au delà[43].

Si nous imaginons, en effet, que l'axe *ab* tourne sur les deux points *a* et *b* et fait passer la ligne *uz* du côté de *de*, la figure *uzba* se superposera à la ligne *deba*, puisque l'intervalle *ti* est égal à la longueur *th*. Or *uz* est parallèle à *de* et *ab* est commun ; donc la ligne *ua* est égale à la ligne *da*, *zb* est égal à *eb*, l'angle *auz* est égal à l'angle *ade*, *uzb* est égal à *deb*, *dab* est égal à *uab*, et le reste est égal au reste.

De même, si *ab* tourne en entraînant <la ligne> *de* jusqu'à la faire passer du côté de *uz*, *de* coïncidera avec *uz*. Donc le rayon qui part de *g* et arrive en *a* sera réfléchi vers le point *u*. Si en effet nous prolongeons la ligne *ba* en ligne droite à partir des deux points *a* et *b* jusqu'aux deux points *k* et *l*, elle partagera l'angle *uad* en deux parties égales. Donc l'angle *kau* est égal à l'angle *kad*. Elle partagera aussi l'angle *zbe* en deux parties égales. Donc l'angle *lbz* est égal à l'angle *lbe*. Or l'angle *kad* est égal à l'angle *gab*, et l'angle *lbe* est égal à l'angle *gba*. Donc l'angle *kau* est égal à l'angle *gab*. Et de même l'angle *lbz* est égal à l'angle *gba*. Donc les deux rayons *ga*, *gb*, sont réfléchis des deux points *a* et *b* vers les deux points *u* et *z*.

Si le corps *uz* se rapproche[44] de la ligne *ab*, nous verrons les deux points *u* et *z* l'un et l'autre en deçà des deux limites *a*, *b*. Et si le corps *uz* s'éloigne de son lieu vers l'arrrière, on ne verra plus dans le miroir les deux points *u* et *z*, mais par les deux points *a* et *b* on verra deux points du segment *uz*, par exemple les deux points *m* et *n*, sans <voir> ni *u* ni *z*.

---

[42] La suite de la démonstration montre qu'il faut supposer, en outre, que le corps *uz* est égal au corps *de*, et donc que chacune des deux parties égales *iu* et *iz* est égale à chacune des deux parties égales *hd* et *he*.

[43] L'expression *non breviabuntur ab eis neque pertransient eas*, quelque peu énigmatique dans sa brièveté, s'éclaire par la fin du texte de cette proposition 19. Il faut comprendre que c'est aux deux points *a* et *b* précisément que les rayons partant de la vue *g* pour saisir les points *u* et *z* se réfléchissent dans le miroir, et non point en deçà de ces points (c'est-à-dire plus près de *t*) ni au-delà (c'est-à-dire plus loin vers *k* et *l*, à supposer d'ailleurs que le miroir soit agrandi vers ces points).

[44] La traduction par Gérard de cette phrase et de la suivante fait difficulté. En effet, du point de vue optique, le texte est manifestement faux. Les deux phénomènes décrits sont inversés : lorsque *uz* s'éloigne de *ab*, *u* et *z* sont vus dans le miroir plus proches de *t*, et lorsque *uz* se rapproche de *ab*, il devient impossible de voir *u* et *z* qui sont en dehors des limites du miroir. Pourtant, du point de vue philologique, cette erreur ne s'explique pas aisément par une simple faute de copie, car l'interversion des mots *appropinquet* et *elongetur* ne préserve pas les accords grammaticaux : il faudrait alors supposer que les membres de phrases *Quod si corpus uz appropinquet linee ab* et *Et si corpus uz elongetur a loco suo retro* ont été intervertis. Plutôt donc que d'écrire un nouveau texte, nous avons conservé celui des manuscrits, en signalant cette erreur. Ajoutons que tous les manuscrits semblent avoir la même erreur, et que c'est donc ce texte fautif qui a circulé au moyen âge.

Si ergo posuerimus notam, que diuidit corpus *uz* in duo media, supra notam *i*, et fiat *uz* equidistans linee *ab*, et uisus est apud quem est nota *g*, et coniunxerimus notam *u* note *a* et notam *z* note *b*, non breuiabuntur ab eis neque pertransient eas.

Si enim imaginauerimus *ab* meguar moueri supra duas notas *a* et *b* et ferre lineam *uz* ad partem *de*, cooperiet figura *uzba* figuram *deba*, eo quod spatium *ti* equatur longitudini *th*. Sed *uz* equidistat *de*, et *ab* est communis, ergo linea *ua* est equalis linee *da*, et *zb* est equalis *eb*, et angulus *auz* equatur angulo *ade*, et *uzb* equatur *deb*, et *dab* est equalis *uab*, et residuum est equale residuo.

Et similiter si uoluatur *ab* deferens *de*, donec cum ea perueniat ad partem *uz*, cooperiet *de uz*. Radius ergo a *g* egrediens et perueniens ad *a* conuertetur ad notam *u*. Si enim lineam *ba* a duabus notis *a* et *b* secundum rectitudinem usque ad duas notas *k* et *l* produxerimus, diuidet angulum *uad* in duo media. Ergo angulus *kau* est equalis angulo *kad*. Et diuidet etiam angulum *zbe* in duo media. Angulus igitur *lbz* equatur angulo *lbe*. Sed angulus *kad* est equalis angulo *gab*, et angulus *lbe* est equalis angulo *gba*. Ergo angulus *kau* equalis existit angulo *gab*. Et similiter angulus *lbz* equatur angulo *gba*. Duo ergo radii *ga gb* conuertuntur a duabus notis *a* et *b* ad duas notas *u* et *z*.

Quod si corpus *uz* appropinquet linee *ab*, uidebimus duas notas *u* et *z* simul absque duabus finibus *a b*. Et si corpus *uz* elongetur a loco suo retro, non uidebuntur umquam in speculo due note *u* et *z*, sed cum duabus notis *a* et *b* uidebuntur due note partis *uz* absque *u* et *z*, sicut due note *m* et *n*. Hoc tamen non esset possibile nisi comprehensio singularium mediantibus speculis fieret per conuersionem radii ad uisibilia, quemadmodum premisimus.

99 breuiabuntur *PJ* : abreuiabuntur *A* 2 uzba *PA* : uzab *J* eo *PA* : *om. J* 9 a duabus *PA* : ad duabus *J* 12 etiam angulum *PA* : *om. J* zbe *PA* : abe *J* 13 equatur *PA* : equalitur *J* 14 lbe est equalis *PA* : lbe equalis *J* gba *PJ* : gab *A* 16 duabus *PA* : duobus *J* 23 *post* uisibilia *add.* quod si angulus non cooperit angulum tunc linea db mouetur de loco suo eundo ad notam u aut ad notam e aut aliter eundo sursum aut deorsum non ergo radius solus conuertitur sed et superficies speculi remouetur simul cum conuersione radii a loco suo ubi supra ipsum cadit radius sed superficies speculi non mouetur propter casum radii supra ipsum hoc namque extra naturam est motus autem radii est naturalis ipse ergo est motus unus simplex non compositus non ergo mouetur linea ud nisi ad partem e solum neque angulus mouetur ipse ergo cooperit angulum bde quemadmodum premisimus erit ergo ut radius qui si directe protenderetur iret secundum lineam gdu conuertatur a nota d super lineam de est ergo angelus (*sic*) adg equalis bde illud est quod monstrare uoluimus omnis quoque radius a parte spere apparente et a gibbositate spere intrinseca conuersus secundum equales conuertitur angulos uerbi gratia ponam duas abg dbe sese supra punctum b contingentes et protraham lineam ubz *sed verbo* va/cat *del. J*

Toutefois cela ne serait pas possible si la saisie des divers <objets> par l'intermédiaire des miroirs ne se faisait par une réflexion du rayon vers les <objets> visibles, comme nous l'avons dit plus haut.

20

D'autre part, si l'on dit que l'air subit l'action de la vue en un instant, il en résulte une difficulté. Car si la vue résout[45] en un instant tout l'air devant lequel est placé celui qui voit, pourquoi donc ce qui est réfléchi est-il résolu, puisqu'il n'est pas en face de celui qui voit, mais seulement en face du miroir?

Certains pensent que cet air résolu, qui est réfléchi, n'est résolu que parce que le miroir, qui reçoit ce pouvoir résolvant, résout l'air, ou bien parce que l'air résolu, qui se trouve devant le miroir, résout <l'air réfléchi>.

Si cette <seconde hypothèse> est vraie, alors cela se produit en un <certain> temps, puisqu'ils pensent que l'air réfléchi est résolu. Mais ce qu'on perçoit par le sens, c'est le contraire, comme nous l'avons dit plus haut.

À cette difficulté, en vérité, il s'ajoute que l'air résolu qui arrive au miroir ne résout pas le rayon réfléchi par le miroir. Car s'il en était ainsi, alors il résoudrait tout l'air à partir duquel il serait possible de mener jusqu'à cet air <résolu> une ligne droite. Mais c'est le contraire qui est perçu. En effet, ce qui est réfléchi par le miroir se déplace selon des lignes droites propres, c'est-à-dire selon des lignes qui aboutissent à l'endroit du miroir <où l'air est> résolu.

Il reste donc seulement que ce qui résout l'air réfléchi par le miroir, c'est l'altération du miroir qui reçoit de la vue le pouvoir résolvant. Si donc le miroir reçoit l'altération en un instant, sans <intervalle de> temps, comme nous l'avons montré, du fait que ce qui est résolu par la vue est résolu sans <intervalle de> temps, alors aussi ce qui subit l'action du miroir la subit en un instant. Si en effet, quand le miroir pâtit, pâtit <aussi> ce qui est réfléchi par lui, et si le miroir pâtit quand ce qui voit y arrive, alors, quand ce qui voit rencontre le miroir, ce qui est réfléchi par <le miroir> pâtit. Donc la passion subie par ce qui est réfléchi se produit sans <intervalle de> temps.

---

[45] Dans la présente proposition et dans les suivantes, le mot *conversio* et ceux de même racine se rapportent à la réflexion des rayons visuels ou lumineux. On peut alors supposer que cet emploi les rend par conséquent indisponibles pour exprimer l'action auparavant désignée par le mot de *conversio* pris dans l'acception de "transformation" : si tel était le cas la "résolution" ne serait pas différente de la "transformation" mentionnée plus haut, ou du moins elle en serait une modalité. Le caractère généralement très littéral des traductions de Gérard laisse toutefois penser que *convertere* et *resoluere* traduisent deux termes arabes différents.

< 20 >

Ex hoc autem quod aer a uisu subito pati dicitur, oritur difficultas. Si enim uisus subito resoluit totum aerem, cui uidens occurrit, quare ergo quod conuersum est resoluitur, cum ipsum non obuiet uidenti, neque occurrat nisi speculo?

Quidam autem extimant quod hic aer resolutus, qui conuersus est, non resoluatur, nisi quia speculum, quod recipit resolutionem, resoluit ipsum, aut aer resolutus, qui obuiat speculo, resoluit ipsum.

Quod si hoc uerum est, tunc in tempore fit, postquam putant quod aer conuersus resoluatur. Quod autem sensu percipitur huius contrarium est, quemadmodum prediximus.

Huic uero difficultati accedit quod aer resolutus, qui occurrit speculo, non resoluit radium conuersum a speculo. Si enim ita esset, tunc resolueret omnem aerem a quo esset possibile ad hunc aerem rectam produci lineam. Quod autem sentitur est huius contrarium. Quod enim a speculo conuersum est secundum rectas transit lineas proprie, scilicet secundum lineas peruenientes ad locum speculi resolutum.

Non ergo relinquitur nisi ut resoluens aerem a speculo conuersum sit alteratio speculi recipientis resolutionem a uisu. Si ergo speculum subito recipit alterationem absque tempore, quemadmodum declarauimus, eo quod a uisu resoluta sine tempore resoluantur, tunc etiam a speculo patiens sine tempore patitur. Si enim, quando speculum patitur, patitur quod ab eo conuertitur, et speculum patitur, cum uidens ei occurrit, ergo, quando uidens obuiat speculo, quod ab eo conuertitur, patitur. Passio igitur eius quod conuertitur fit sine tempore.

<20>

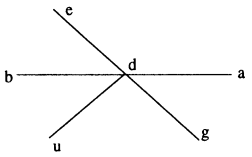
2 uidens *PAJ* : *gloss.* uidens id est pars oculi que uidet *add. mg. m. pr. P gloss.* id est pars oculi que uidet *add. mg. m. rec. J* 9 huius *PJ* : hiis *A* 11 accedit *PA* : accidit *J* 16 peruenientes *A* : *corr. m. pr. ex* prouenientes *P* prouenientes *J* 18 sit *PA* : *mg. m. rec. J* 19 alteratio *PA* : alterato *J* 21-22 a speculo *AJ* : speculo *P* 22 tempore patitur *PJ* : tempore paritur *A*

21

Voici encore une question très difficile : puisque nous ne saisissons les divers <objets> par l'intermédiaire des miroirs que par une réflexion du rayon sur les miroirs vers ce qui est vu, pourquoi donc voyons-nous cela dans le miroir et ne voyons-nous pas les <objets> en leurs lieux, puisque la base du rayon les saisit comme elle saisit les objets <vus> directement?

Je dis donc que nous voyons les divers <objets> en leurs lieux. Il en est ainsi parce que nous les voyons eux, et <les lieux> où ils sont, et tout ce qui est entre le miroir et eux. Nous les voyons, eux et en même temps leurs lieux, dans la droite ligne de la vision, c'est-à-dire selon une ligne droite à partir de la vue, sans qu'ils s'écartent de cette droite ligne. Or la droite ligne de la vision, c'est une ligne droite qui coupe la surface du miroir. C'est pourquoi on croit que <l'objet> particulier est vu dans le miroir.

Soit, par exemple, la ligne *ab* la surface du miroir, sur laquelle se réfléchit le rayon. Soit au point *g* la vue, et soit la ligne *gde* la droite ligne de la vue, c'est-à-dire du rayon perpendiculaire[46] qui subit l'action de la vue. Posons que *d* est le lieu où cette ligne coupe la surface du miroir. Et soit au point *u* ce qui est vu.



Les deux angles *adg*, *bdu*, sont donc égaux. Or l'angle *edb* est égal à l'angle *udb*, comme nous l'avons montré plus haut. Donc *u* est vu en *e*. On croit donc qu'il est en *d*, parce que ces <deux points> se situent sur une même ligne droite partant de la vue. Mais il n'en est pas ainsi, parce que nous saisissons les divers <objets> qui sont aussi sur toute la ligne *du* comme s'ils étaient dans le miroir. Et on croit que chacune des choses qui sont sur la ligne *du* est saisie dans le miroir au point *d*.

Il y aurait donc à la fois beaucoup <d'objets> divers de même grandeur dans un lieu égal à la grandeur d'un seul d'entre eux. Donc une parmi plusieurs choses de même grandeur serait à elle seule égale en grandeur à leur collection. Mais cela est contradictoire et impossible.

---

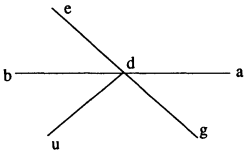
[46] L'expression *perpendicularis radii* désigne selon toute vraisemblance l'axe du cône visuel dont le sommet est l'œil ; cet axe est perpendiculaire à la base lorsque le cône est de révolution, ce qui est bien le cas du cône visuel en question.

< 21 >

Hec autem questio ualde etiam est difficilis, que est: postquam nos non comprehendimus singularia mediantibus speculis nisi per conuersionem radii a speculis ad id quod uidetur, quare ergo uidemus ipsum in speculo et non uidemus ea in locis suis, cum basis radii comprehendat ipsa, sicut comprehendit res absque medio?

Dico igitur quod nos uidemus singularia in locis suis. Et hoc est quia uidemus ea, et ea in quibus sunt, et totum quod est inter speculum et ipsa. Ea autem et loca eorum uidemus simul in rectitudine uisus, scilicet a uisu secundum rectam lineam non inclinata ab eius rectitudine. Rectitudo autem uisus est linea recta secans speculi superficiem. Quapropter putant quod singulare in speculo uideatur.

Verbi gratia sit superficies speculi, a qua conuertitur radius, linea *ab*. Et sit uisus apud notam *g*, et rectitudo uisus, scilicet perpendicularis radii patientis a uisu, linea *gde*. Et ponamus locum, ubi hec linea secat superficiem speculi, *d*. Et quod uidetur sit apud notam *u*.



Duo igitur anguli *adg bdu* sunt equales. Angulus autem *edb* est equalis angulo *udb*, quemadmodum prius ostendimus. Ergo *u* uidetur apud *e*. Estimatur ergo quod sit apud *d*, eo quod ipsa a uisu secundum unam rectitudinem consistant. Sed non est ita, quoniam comprehendimus singularia, que sunt etiam super totam lineam *du*, ac si essent in speculo. Et unaqueque rerum, que sunt super lineam *du*, extimatur quod in speculo comprehendatur supra notam *d*.

Essent ergo singularia multa equalis magnitudinis simul in loco magnitudini unius eorum equali. Ergo esset rerum plurium in magnitudine equalium una earum collectioni in magnitudine equalis. Hoc autem contrarium est et impossibile.

<21>

1 est difficilis *PJ* : difficilis est *A* nos non *P* : nos *A* nos *corr. ex* nons *J*
9 uisu *PA* : uisa *J* 22 comprehendatur *PA* : comprehendantur *J*

Donc les divers <objets> qui sont sur la ligne *du* ne sont pas vus au point *d*, mais sur les points de la ligne *de* dont les distances à *d* sont <respectivement> égales aux distances à *d* des divers <objets> qui sont sur la ligne *du*.

On ne voit donc pas les divers <objets> dans le miroir, mais dans leurs lieux, sur la ligne droite qui part de la vue et coupe la surface du miroir, sur laquelle se réfléchit le rayon, au point où il est réfléchi. Or la vue ne saisit jamais les objets que selon des lignes droites, non selon des lignes brisées[47]. En effet, la brisure du rayon n'est pas une opération corporelle qui puisse être perçue, mais elle est virtuelle. Elle n'est donc pas perçue, mais conçue. Nous concevons donc que la vue reçoit, par la réflexion de son rayon, la chose vue par l'intermédiaire du miroir, et que cette chose est par rapport à la vue sur une ligne brisée. Cependant nous ne percevons pas de cette façon, mais selon une ligne droite partant de la vue. C'est ce que nous voulions démontrer.

22

Après que nous avons donc montré cela, cherchons pourquoi on saisit la lumière des divers <objets> plus distinctement et plus clairement quand ils sont proches de la vue, c'est-à-dire de l'organe de la vue, que lorsqu'ils en sont éloignés.

Je dis donc : en voyant les lumières des chandelles qui éclairent les maisons, nous serons obligés d'admettre qu'une chandelle éclaire un lieu petit plus vivement qu'un grand. En effet, nos sens nous apprennent qu'il en est ainsi, à savoir qu'une chandelle éclaire une petite maison plus vivement qu'une <maison> plus grande. Il est donc manifeste que la puissance d'un même corps lumineux éclaire davantage un corps petit, d'où elle n'émane pas, qu'un corps plus grand, d'où elle n'émane pas, et cela à raison du rapport <des corps>. En effet, le rapport de la puissance d'un corps lumineux quelconque à ce <corps> tout entier est comme le rapport de la puissance d'une partie du corps lumineux à cette partie.

Soit, par exemple, le corps *ab* un corps lumineux. Je dis donc que la puissance du corps *ab* est au corps *ab* dans le même rapport que la puissance de sa partie à cette partie. Voici comment on le prouve.

Il n'est pas possible, en effet, qu'il en soit autrement. Car si cela est possible, alors l'un des rapports est plus grand ou plus petit que l'autre[48].

---

[47] Comme le montre le contexte, l'expression *linea obliqua* a, dans le lexique de Gérard, le sens technique de "ligne brisée" ; de même, *obliquitas* est un terme technique qualifiant, en optique, une ligne brisée.

[48] Les mots *maioris proportionis aut minoris* sont une expression technique qui se rapporte à la comparaison de deux rapports et signifie que le premier de ces rapports est plus grand, ou respectivement plus petit, que le second. Dans le langage traditionnel des proportions, tel qu'il s'est établi au XIVe siècle, on désigne l'égalité de deux rapports par les mots *proportio equalitatis*, et leur inégalité par les mots *proportio maioris inequalitatis*, ou *proportio minoris inequalitatis* respectivement ; cf., par exemple, le populaire

Non ergo uidentur singularia, que sunt super lineam *du*, in nota *d* sed supra notas linee *de*, quarum spatia a *d* sunt equalia spatiis singularium, que sunt super lineam *du*, a *d*.

Singularia igitur in speculo non uidentur, sed in locis eorum super lineam rectam a uisu egredientem secantem speculi superficiem, a qua radius conuertitur, supra notam a qua conuertitur radius. Visus autem numquam comprehendit res nisi secundum rectas lineas et non secundum obliquas. Obliquitas enim radii non est operatio corporea, que sentiatur, sed est uirtualis. Non ergo sentitur, sed scitur. Scimus igitur quod rem, que per speculum uidetur, recipit uisus per conuersionem sui radii, et quod ipsa a uisu est secundum rectitudinem obliquitatis. Nos tamen non ita sentimus, sed secundum rectam lineam a uisu. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 22 >

Postquam igitur huius declarationem premisimus, inuestigemus quare singularium lumen, cum uisui sunt propinqua, manifestius et clarius comprehenditur quam cum a uisu elongantur, scilicet ab eius instrumento.

Dico igitur nobis necessarium fore quod ex candelarum luminibus domos illuminantium uidemus, ad concedendum quod candela una paruum locum fortius illuminet quam magnum. Nos enim sic esse sensibiliter inuenimus, uidelicet quod candela una paruam domum fortius illuminat quam maiorem ea. Manifestum est igitur quod uirtus unius corporis luminosi plus illuminat paruum corpus, a quo ipsa non egreditur, quam corpus eo maius, a quo ipsa non egreditur, et etiam secundum mensuram proportionis. Virtutis enim cuiusque luminosi corporis proportio ad ipsum totum est sicut proportio uirtutis partis corporis luminosi ad illam partem.

Verbi gratia sit corpus luminosum corpus *ab*. Dico igitur quod uirtus corporis *ab* ad corpus *ab* est sicut proportio uirtutis partis eius ad ipsam partem. Quod sic probatur.

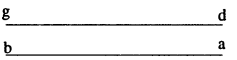
Non enim est possibile aliter esse. Quod si possibile est, tunc aut est maioris proportionis aut minoris.

30 sed in locis *correxi* : sed speculum in locis *PAJ* 35 igitur *PJ* : enim *A*

<22>

2 sunt *P* : *mg. m. rec. J* sint *A* 3 cum a uisu *PA* : a uisu cum *J* elongantur *P* : elongatur *AJ* 8 uidelicet *PA* : scilicet *J* 9 est igitur *PA* : igitur est *J*

Posons donc la première <hypothèse> : que <le second> rapport soit plus grand <que le premier>. Posons que la ligne *gd* soit la puissance de *ab*, que *g* soit la puissance de *a* et *d* la puissance de *b*. Si donc le rapport de *g* à *a* est plus grand que le rapport de *gd* à *ab*, et si le rapport de *d* à *b* est plus grand que le rapport de *gd* à *ab*, alors, en combinant <les rapports>, le rapport de *gd* à *ab* sera plus grand que le rapport de *gd* à *ab*. Il y aura donc d'une même chose à une même autre <chose> deux rapports dont l'un sera plus grand que l'autre, ce qui est contradictoire et impossible.



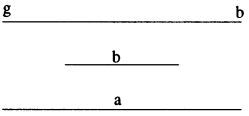
Et de même, si le rapport de *g* à *a* est plus petit que le rapport de *gd* à *ab*, et si le rapport de *d* à *b* est plus petit que le rapport de *gd* à *ab*, alors le rapport de *gd* à *ab* est plus petit que le rapport de *gd* à *ab*. Mais cela est aussi contradictoire et impossible.

Donc le rapport de *g* à *a* est comme le rapport de *gd* à *ab*, ni plus grand ni plus petit. C'est ce que nous voulions démontrer.

Donc le rapport <de la puissance> d'un corps lumineux à <ce> corps lumineux est toujours le même, ni plus fort ni plus faible, ni plus petit ni plus grand, puisque ce qu'on a dit a été démontré de façon nécessaire.

D'autre part, une puissance donnée fait toujours dans une chose donnée une seule et même impression, ni plus grande ni plus petite, ni plus forte ni plus faible.

Soit, par exemple, la ligne *a* une puissance donnée ; la ligne *bg* une chose donnée ; et soit la ligne *b* la chose que *a* imprime dans *bg*. Je dis donc que *a* imprime toujours dans la ligne *bg* la ligne *b* et rien d'autre. Ce qu'on prouve comme suit.

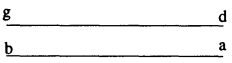


Si, en effet, *a* imprime dans *bg* quelquefois *b* et quelquefois autre chose que *b*, alors le rapport de la puissance *a* à *a*[49] est quelquefois plus grand et quelquefois plus petit. Mais on a déjà démontré que le rapport d'une puissance à ce qui a cette puissance est toujours le même, ni plus grand ni plus petit, ni plus fort ni plus faible. Il est donc le même et il n'est pas le même, ce qui est contradictoire et impossible. Donc ce que *a* imprime dans *bg*, c'est toujours *b* et rien d'autre. C'est ce que nous voulions démontrer.

Tractatus brevis proportionum abbreviatus ex libro de proportionibus D. Thome Braguardini Anglici, cité dans M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, 1959), p. 481-482.

[49] Dans l'expression *proportio uirtutis* a *ad* a, la lettre *a* désigne d'abord la puissance d'un corps, puis ce corps lui-même.

Ponam itaque primum ut sit maioris proportionis. Et ponam uirtutem *ab* lineam *gd*, et ut *g* sit uirtus *a* et *d* uirtus *b*. Si ergo proportio *g* ad *a* est maior proportione *gd* ad *ab*, et proportio *d* ad *b* est maior proportione *gd* ad *ab*, tunc, cum nos coniungemus, erit proportio *gd* ad *ab* maior proportione *gd* ad *ab*. Erunt ergo unius rei ad unam due proportiones, quarum una altera maior erit. Quod quidem contrarium est et impossibile.



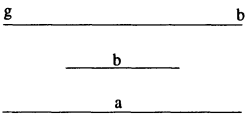
Et etiam si proportio *g* ad *a* est minor proportione *gd* ad *ab*, et proportio *d* ad *b* est minor proportione *gd* ad *ab*, tunc proportio *gd* ad *ab* est minor proportione *gd* ad *ab*. Hoc uero contrarium et etiam impossibile.

Proportio igitur *g* ad *a* est sicut proportio *gd* ad *ab* et non maior neque minor. Et hoc est quod demonstrare uoluimus.

Ergo proportio corporis luminosi ad corpus luminosum semper est una et non fortior neque debilior, neque minor neque maior, postquam iam ostensum est necessario quod prediximus.

Virtus autem data in rem datam unam semper facit impressionem et eandem, non maiorem neque minorem, non fortiorem neque debiliorem.

Verbi gratia sit uirtus data linea *a*, et res data linea *bg*, et res, quam *a* imprimit in *bg*, sit linea *b*. Dico igitur quod *a* semper imprimit in lineam *bg* lineam *b* et non aliud. Quod sic probatur.

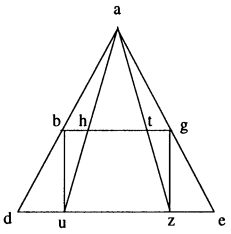


Si enim *a* quandoque imprimit in *bg b* et quandoque aliud quam *b*, tunc proportio uirtutis *a* ad *a* quandoque est maior et quandoque minor. Iam uero ostensum est quod proportio uirtutis ad habentem uirtutem semper est una, non maior neque minor, non fortior neque debilior. Est ergo una non una, quod est contrarium et impossibile. Quod ergo *a* imprimit in *bg* semper est *b* et non aliud. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

22 ad (*post* g) *PJ* : *iter. A* 23-24 proportione ... ab *PA* : proportione gd ab ad et proportio d ad b est maior proportione cum nos coniungemus erit proportio gd ad ab maior proportione gd ad ab *J corr* tunc cum nos coniungemus erit proportio gd ad ab maior proportione gd *hab. mg. sup. m. rec. J* 25 quarum *PA* : quare *J* 28-29 tunc ... ab (*ante* hoc) *PAJ* : *uerbo* va/cat *s. l. falso del. m. rec. J* 44 illud *PA* : hoc *J*

Donc le rapport d'une puissance qui produit une impression à son impression dans le corps qui la subit est toujours nécessairement le même, puisque ce que nous avons dit plus haut est maintenant manifeste. Donc le rapport d'une puissance variable en force et en faiblesse à l'impression qu'elle produit dans un corps qui la subit est nécessairement variable.

Une puissance donnée imprime dans un corps donné une impression de lumière plus forte que l'impression d'une puissance plus faible que la <susdite puissance>.



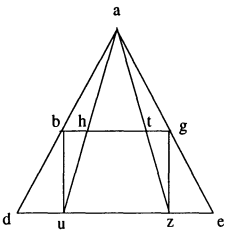
Posons, par exemple, qu'il y ait au point *a* un <objet> ayant une puissance éclairante, et qu'il y ait à la ligne *bg* le corps éclairé. Donc la puissance qui éclaire *bg* éclaire aussi l'air contenu dans le triangle *abg*. Menons la ligne *de* parallèle à la ligne *bg*. Posons que le rayon *ab* tombe sur le point *d* de la ligne *de*, et que le rayon *ag* tombe sur le point *e* de la ligne *de*. Menons à partir des deux points *b* et *g* deux perpendiculaires *bu* et *zg* à la ligne *de*. Donc la ligne *uz* est égale à la ligne *bg*. Menons *au* et *az*. Marquons par le point *h* le lieu où *au* coupe la ligne *bg*, et par le point *t* le lieu où *az* coupe la ligne *bg*.

Je dis donc que la lumière qui tombe sur le corps qui est en *bg* est plus forte que la lumière qui tombe sur le même corps <en *uz*>, parce que la puissance qui imprime la lumière dans ce <dernier cas> est plus faible que la puissance dans le premier <cas>. On le prouve comme suit.

En effet, la puissance qui imprime la lumière dans le corps *bg* est celle qui imprime la lumière dans tout le corps situé dans l'espace compris dans le triangle *abg*. Donc les limites du rayon qu'imprime la puissance éclairant *bg* sont les deux lignes *abd*, *age*. Donc cette <puissance> se répand dans ce qui est contenu dans le triangle *abg*. Donc une <puissance> plus faible qu'elle se répand dans ce qui est contenu dans *aht*. Donc les limites du rayon qu'imprime la puissance éclairant *ht* sont les deux lignes *ahu*, *atz*. Donc la puissance qui se répand dans le triangle *auz* est plus faible que celle qui se répand dans le triangle *ade*. Elle ne peut, en effet, produire son impression jusqu'aux deux lignes *abd*, *age*.

Proportio igitur uirtutis imprimentis ad impressionem suam in corpus impressum semper necessario est una, postquam iam manifestum est quod premisimus. Ergo proportio uirtutis in fortitudine et debilitate diuerse ad impressionem suam in corpus impressum necessario est diuersa.

Virtus data imprimit in corpus datum luminis impressionem fortiorem impressione uirtutis ea debilioris.



Verbi gratia ponam ut habens uirtutem illuminantem sit apud notam *a*, et corpus illuminatum sit apud lineam *bg*. Virtus ergo illuminans *bg* illuminat etiam aerem qui continetur a triangulo *abg*. Protraham autem lineam *de* equidistantem linee *bg*. Et ponam ut radius *ab* cadat supra notam linee *de*, que est *d*, et radius *ag* cadat supra notam linee *de*, que est *e*. Et producam a duabus notis *b* et *g* duas perpendiculares super lineam *de*, que sint perpendiculares *bu zg*. Linea igitur *uz* equalis est linee *bg*. Et producam *au* et *az*. Et signabo locum, ubi *au* secat lineam *bg*, nota *h* , et locum, ubi *az* secat lineam *bg*, nota *t*.

Dico igitur quod lumen cadens super corpus, quod est in loco *bg*, fortius est lumine cadente supra idem corpus, cum uirtus imprimens lumen in eo prima uirtute est debilior. Quod sic probatur.

Virtus namque imprimens lumen in corpus *bg* est que imprimit lumen in totum corpus quod est in loco a triangulo *abg* comprehenso. Fines ergo radii, quem uirtus illuminans *bg* imprimit, sunt due linee *abd age*. Ipsa ergo procedit in eo quod a triangulo *abg* continetur. Debilior ergo ea procedit in eo quod continetur ab *aht*. Fines igitur radii, quem imprimit uirtus illuminans *ht*, sunt due linee *ahu atz*. Virtus ergo procedens in triangulo *auz* debilior existit uirtute procedente in triangulo *ade*. Non enim sua impressione ad duas lineas *abd age* ualet peruenire.

54 uirtus *PJ* : uirtus autem *A* 55 ea *PJ* : eo *A* 58 etiam aerem *PA* : aerem etiam *J* 59 ut *AJ* : *mg. m. pr. P* 60-61 et radius ... est e *PJ* : *mg. m. pr. A* 61 *ante* e *exp.* de que est d et radius ag *J* super *PJ* : supra *A* 62 sint *PA* : sunt *J* 63 et (*post* az) *PA* : *om. J* 64-65 nota t ... loco bg *PA* : *mg. m. rec. J* 65 super *PJ* : supra *A* 66 cum *PA* : eum *J* 68 bg *Björnbo* : ab *PAJ* 69 comprehenso *PJ* : comprehensa *A* 70 sunt *PJ* : sint *A* 71 abd age *PA* : ab ad age *J* 72 igitur *PJ* : ergo *A*

Or le rapport de la puissance qui atteint les deux points *h* et *t* à son impression dans le corps dont les deux points *u* et *z* contiennent les limites est différent du rapport de la puissance qui atteint les deux points *b* et *g* à son impression dans le corps dont les deux points *u* et *z* contiennent les limites. Et le rapport de la puissance qui atteint *ht* à son impression dans *uz* est comme le rapport de la puissance qui atteint *bg* à son impression dans *uz*[50]. Et, par permutation, le rapport de la puissance qui atteint *ht* à la puissance qui atteint *bg* sera comme <le rapport de> l'impression *ht* sur *uz* à l'impression *bg* sur *uz*.

Mais on a déjà dit que la lumière qui atteint *ht* est plus faible que la lumière qui atteint *bg*. Donc l'impression qui atteint *ht*, sur *uz*, est plus faible que l'impression qui atteint *bg*, sur *uz*. Et celle qui atteint *bg* n'exerce d'impression sur *uz* si ce n'est en parvenant à *bg*, parce que les limites de la puissance <éclairante> contiennent <alors *uz*>.

Donc un corps lumineux imprime dans un corps proche de lui une puissance plus grande que celle qu'il y imprime quand le corps est éloigné. Donc, quand un corps est proche du corps qui l'éclaire, il est nécessairement plus lumineux que lorsqu'il en est éloigné, puisque ce qu'on a dit plus haut est évident, à savoir que <le corps lumineux> imprime en lui une puissance plus grande. C'est ce que nous voulions démontrer.

23

On perçoit comme égales toutes les choses perçues selon l'angle formé par les limites de la lumière qui subit l'action de la vue.

Posons, par exemple, que la vue est au point *a*, et que les limites de la lumière qui subit l'action de la vue sont les deux lignes *ab*, *ag*. Je dis donc que toutes les grandeurs que limitent les deux lignes *ab*, *ag*, sont <vues> égales. Ce qu'on prouve ainsi.

Posons, en effet, que la ligne que limitent les deux points *b* et *g* est la grandeur *bg*. Et soit une autre grandeur que limitent deux autres points des deux lignes *ab*, *ag* : le point *d* de la ligne *ab* et le point *e* de la ligne *ag* ; soit *de* cette grandeur.

---

[50] L'affirmation que contient cette phrase paraît, au premier abord, contradictoire à celle que contient la phrase précédente, et l'on pourrait être tenté de corriger le texte, en remplaçant *uz* par *bg*. Mais la phrase qui suit confirme la leçon *uz*, puisque le deuxième élément du second rapport, après permutation, est bien l'impression *bg* sur *uz* (*ad impressionem* bg *in* uz). La solution de cette difficulté se trouve dans la dernière phrase du paragraphe suivant : *Et perveniens ad* bg *non imprimit in* uz *nisi cum fuerit in loco* bg *quoniam fines uirtutis continent ipsum*. Il faut comprendre, comme l'explicite cette phrase, que *uz* est tantôt considéré comme étant en son lieu (sur *de*) lorsqu'il reçoit l'impression *ht*, tantôt considéré comme supposé en *bg* (auquel il est égal) lorsqu'il reçoit l'impression *bg*. C'est le jeu même de cette égalité entre *uz* et *bg*, et du transport fictif de *uz* en *bg*, qui constitue le nerf de l'argumentation.

Proportio autem uirtutis, que peruenit ad duas notas *h* et *t*, ad impressionem suam in corpus, cuius fines continent due note *u* et *z*, diuersa est a proportione uirtutis, que peruenit ad duas notas *b* et *g*, ad impressionem suam in corpus, cuius fines due note *u* et *z* continent. Et proportio uirtutis peruenientis ad *ht* ad impressionem suam in *uz* est sicut proportio uirtutis peruenientis ad *bg* ad impressionem suam in *uz*. Et cum permutauerimus, erit tunc proportio uirtutis peruenientis ad *ht* ad uirtutem peruenientem ad *bg* sicut impressio *ht* in *uz* ad impressionem *bg* in *uz*.

Iam uero est premissum quod lumen perueniens ad *ht* debilius existit lumine perueniente ad *bg*. Ergo impressio perueniens ad *ht* in *uz* debilior est impressione perueniente ad *bg* in *uz*. Et perueniens ad *bg* non imprimit in *uz*, nisi cum fuerit in loco *bg*, quoniam fines uirtutis continent ipsum.

In unum ergo corpus, cum corpori ipsum illuminanti propinquum existit, uirtutem fortiorem imprimit quam uirtus quam imprimit in ipsum, cum ab eo elongatur. Corpus ergo, cum corpori ipsum illuminanti propinquum existit, magis luminosum est necessario quam cum ab eo elongatur, postquam manifestum est quod prediximus, scilicet quod imprimit in ipsum uirtutem fortiorem. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

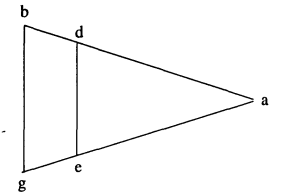
< 23 >

Omnia que angulo sentiuntur, qui prouenit ex finibus luminis a uisu patientis, sentiuntur equalia.

Verbi gratia ponam ut uisus sit apud notam *a*, et fines luminis patientis a uisu sint due linee *ab ag*. Dico igitur quod omnes quantitates, quas due linee *ab ag* circumdant, sunt equales. Quod sic probatur.

Ponam enim ut linea, quam due note *b* et *g* circumdant, sit quantitas *bg*. Et sit quantitas altera, quam due alie note duarum linearum *ab ag* circumdant, que sunt nota *d* linee *ab* et nota *e* linee *ag*, que sit quantitas *de*.

86 est premissum *PJ* : premissum est *A* 92-94 uirtutem ... existit *PJ* : *om. A*

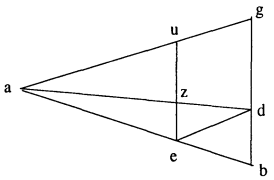


Ainsi la vue perçoit les deux points *d*, *b*, sur une même ligne, c'est-à-dire la ligne *ab*, et les deux points *e*, *g*, sur une même ligne, c'est-à-dire la ligne *ag*. Elle ne voit donc s'écarter l'une de l'autre aucune des limites de chacune des deux quantités *bg*, *de*, mais elle voit égales leurs limites extrêmes. Or les choses, dont on ne voit pas l'une dépasser l'autre, sont vues égales, puisque l'une est vue recouvrir exactement l'autre. Donc les deux lignes *de*, *bg*, sont vues égales. En effet, l'une d'elles recouvre exactement l'autre, et les extrémités de l'une d'elles ne dépassent pas les extrémités de l'autre. C'est ce que nous voulions démontrer.

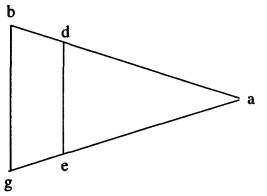
24

Un angle plus petit que ceux formés par les limites de la lumière qui subit l'action de la vue[51] perçoit une chose donnée comme plus petite, et un <angle> plus grand la perçoit comme plus grande.

Posons, par exemple, que la vue est au point *a* ; posons que l'angle formé par les limites de la lumière qui subit l'action de la vue est l'angle *bag* ; joignons *b* à *g* ; soit un autre angle compris entre les deux lignes *da*, *ag*. Posons que *d* appartient à la ligne *bg*. Je dis donc que la grandeur *dg* perçue sous l'angle *dag*, qui est plus petit, est perçue comme plus petite que quand elle est perçue sous l'angle *bag*. On le démontre comme suit.



[51] Par l'expression "les limites de la lumière qui subit l'action de la vue", il faut comprendre, dans les propositions 23 et 24, "les deux extrémités des rayons visuels issus de l'œil".

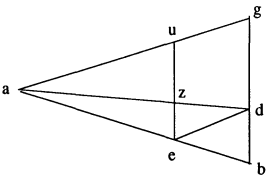


Visus itaque cernit duas notas *d b* super lineam unam, scilicet lineam *ab*, et duas notas *e g* super lineam unam, scilicet lineam *ag*. Non ergo uidet aliquem finium alicuius duarum quantitatum *bg de* ab alio egredi, sed uidet fines extremitatum equales. Ea uero, quorum unum aliud superare non uidetur, uidentur equalia, quoniam unum aliud cooperire uidetur. Due ergo linee *de bg* equales uidentur. Una enim earum alteram cooperit, neque extremitates unius earum superant alterius extremitates. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

< 24 >

Minor angulis, qui proueniunt ex finibus luminis patientis a uisu, sentit rem datam minorem, et maior sentit maiorem.

Verbi gratia ponam ut uisus sit apud notam *a*, et ponam ut angulus, qui prouenit ex finibus luminis patientis a uisu, sit angulus *bag*, et coniungam *bg*, et sit alter angulus contentus a duabus lineis *da ag*. Et ponam ut *d* sit linee *bg*. Dico igitur quod quantitas *dg* sentitur angulo *dag* minore minor quam cum sentitur angulo *bag*. Quod sic probatur.



<23>

11 et ... ag *PJ* : *mg. m. pr. A* 12 aliquem *PA* : aliquam *J* 14 non uidetur uidentur *PA* : nobis uidentur *J*

<24>

1 angulis *AJ* : *corr. m. pr. ex* angulus P 4 bag *PA* : bg *J* 7 minor *PJ* : *om. A*

Menons, en effet, à partir du point *d* une ligne parallèle à la ligne *ag* et parvenant à la ligne *ab*, à savoir la ligne *de*. Menons à partir de *e* une ligne parallèle à la ligne *bg* et parvenant à la ligne *ag*, à savoir la ligne *eu*. Donc le quadrilatère *deug* a ses côtés parallèles <deux à deux>. Donc les côtés *dg* et *eu* sont égaux. Marquons par le point *z* le lieu où la ligne *ad* coupe la ligne *eu*. Donc *zu* est une partie de *eu*. Donc elle est perçue comme plus petite que *eu*. Or la grandeur *dg* est perçue comme égale à la grandeur *uz*, parce qu'elles sont comprises dans un même angle, qui est l'angle *dag*. Or, en grandeur <réelle>, *dg* c'est *eu*, et *eu* est perçu comme égal à *bg* sous l'angle *bag*. Donc *dg* est perçu comme plus petit sous un angle plus petit, qui est *dag*, et comme plus grand sous un angle plus grand, qui est *bag*. C'est ce que nous voulions démontrer.

Fin du livre de la perspective.

Protraham enim a nota *d* lineam equidistantem linee *ag* peruenientem ad lineam *ab*, que sit linea *de*. Et producam ab *e* lineam equidistantem linee *bg* et peruenientem ad lineam *ag*, que sit linea *eu*. Quadratum igitur *deug* equidistantium est laterum. Latera ergo *dg* et *eu* sunt equalia. Notabo autem locum, ubi linea *ad* secat lineam *eu*, nota *z*. Ergo *zu* est pars *eu*. Ergo ipsa sentitur minor *eu*. Quantitas autem *dg* sentitur equalis quantitati *uz*, quoniam ab uno continentur angulo, scilicet angulo *dag*. Sed *dg* secundum quantitatem est *eu*, et *eu* sentitur angulo *bag* equalis *bg*. Ergo *dg* minor sentitur angulo minore, qui est *dag*, et maior angulo maiore, qui est *bag*. Et illud est quod demonstrare uoluimus.

Explicit liber de aspectu

8 peruenientem *PA* : prouenientem *J* 13 zu *PJ* : uz *A* sentitur (*post* dg) *PA* : sectatur *A* 14 continentur *PJ* : continetur *A* 14-15 scilicet angulo *PA* : *om. J* 15 bag *correxi* : abg *PAJ* 16 dg *PJ* : bg *A* 18 explicit ... aspectu *PA* : explicit *J add. rubr.* explicit liber Alchindi philosophi de diuersitate aspectuum *m. pr. inferius J*

NOTE SUR L'ÉDITION

Le *Liber de causis diversitatum aspectus* d'al-Kindī, communément appelé *De aspectibus* dans la littérature érudite, a fait l'objet d'une première et unique édition par A. Björnbo, au début du siècle, d'après tous les manuscrits alors connus[1]. Il a pourtant paru utile de donner ici une nouvelle édition de ce traité, pour les motifs suivants.

En premier lieu, l'édition de Björnbo est aujourd'hui difficilement accessible, ce qui rendrait peu commode au lecteur la confrontation de la traduction française, proposée plus loin, avec le texte latin du traité. Or il nous semble que la possibilité d'une telle confrontation doit être fournie, en raison même de la perte du texte original arabe d'al-Kindī. La traduction française, en effet, ne peut que refléter, en bien ou en mal, les caractères de la version latine, ses qualités comme ses défauts, ou ses gauchissements. Il est donc important de procurer, avec cette version française, le texte qui en est la source et qui justifie certains choix de traduction.

Ajoutons aussi qu'il aurait été peu compréhensible que l'on refuse au lecteur arabisant le moyen de conjecturer, à l'occasion, les termes arabes que peuvent recouvrir diverses tournures latines. En outre, plutôt qu'au français, c'est évidemment au texte latin (à défaut de l'arabe) que se rapportent bon nombre des commentaires et des éclaircissements qui se trouvent dans les notes destinées à expliciter le contenu du traité d'al-Kindī.

Une autre des raisons qui ont conduit à établir une nouvelle édition critique est la découverte qui a été faite d'un manuscrit du *De aspectibus* inconnu de Björnbo, et conservé à la Bibliothèque Colombine de Séville[2]. Ce manuscrit, qui date du XIIIe siècle[3], sans apporter, il est vrai, de modification sensible à l'édition de Björnbo, permet cependant d'établir plus solidement le texte du *De aspectibus* : comme on le verra plus loin, il est le plus ancien représentant de l'une des deux branches principales de la tradition du traité d'al-Kindī, en même temps qu'il se recommande par la qualité de sa copie.

---

[1] *Alkindi, Tideus und Pseudo-Euklid. Drei optische Werke.* Herausgegeben und erklärt von Axel A. Björnbo und Seb. Vogl, Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Heft XXVI, 3 (Leipzig-Berlin, 1912). L'édition est due à A. Björnbo (p. 3-41) et le commentaire à Seb. Vogl (p. 42-70). (Désormais cité : Björnbo-Vogl).

[2] Sur la constitution de ce fonds de manuscrits par Fernand Colomb (1488-1539), fils puîné et bâtard du découvreur de l'Amérique, cf. G. Beaujouan, "Fernand Colomb et l'Europe intellectuelle de son temps", *Journal des savants* (1960), p. 145-159, et "Fernand Colomb et le marché du livre scientifique à Lyon en 1535-1536", *Actes du 112e Congrès national des Sociétés savantes (Lyon, 1987)* (Paris, 1988), p. 55-63.

[3] Il s'agit du manuscrit désigné par *J* dans la liste des manuscrits ci-dessous.

La tradition manuscrite du De aspectibus

Étant admise l'utilité de donner une nouvelle édition du *De aspectibus*, il n'était pourtant pas question de refaire entièrement le travail accompli par Björnbo : travail de collation exhaustive de tous les manuscrits aujourd'hui connus, de relevé des variantes et de rédaction d'un nouvel apparat critique complet contenant toutes les leçons. En examinant nous-même quatre des onze manuscrits utilisés par Björnbo, nous nous sommes assuré, en effet, de la solidité de son étude codicologique et du sérieux de son apparat critique[4]. Au surplus, il se trouve que sept des douze manuscrits du *De aspectibus* contiennent aussi l'*Optique* de Ptolémée. On dispose donc, sur ces manuscrits (pour autant que les copistes des ouvrages d'al-Kindī et de Ptolémée sont les mêmes), des analyses approfondies d'A. Lejeune sur la tradition du traité ptoléméen[5]. À quoi s'ajoutent diverses études ponctuelles sur tel ou tel manuscrit, qui se rencontrent dans la littérature érudite depuis l'époque de Björnbo. En nous fondant donc sur les analyses de Björnbo et sur ces études plus récentes, nous nous sommes attaché à réexaminer la filiation des manuscrits et à situer le manuscrit de Séville dans l'ensemble de la tradition du *De aspectibus*.

Liste des manuscrits

Nous avons évidemment adopté les sigles utilisés par Björnbo pour désigner les manuscrits du *De aspectibus*. Afin d'éviter toute confusion, nous avons choisi pour le manuscrit de Séville, inconnu de Björnbo, la lettre *J* restée sans emploi non seulement dans l'édition d'al-Kindī par Björnbo, mais aussi dans les éditions des deux autres traités d'optique faites par Björnbo dans le même ouvrage, ainsi que dans l'édition latine de l'*Optique* de Ptolémée par A. Lejeune. Pour chaque manuscrit, nous indiquons seulement les études significatives pour notre propos, en omettant les références, de caractère général, aux catalogues de manuscrits.

A Milan, Bibliotheca Ambrosiana, T 100 sup. Écrit en Italie, au début du XIVe siècle ; *De aspectibus* : fol. 1^{r}-18^{v}.
Björnbo-Vogl, p. 123-124.
Lejeune, p. 38*-39*, 67*-68*.

---

[4] La qualité du travail de Björnbo est reconnue par A. Birkenmajer dans sa recension de Björnbo-Vogl, parue dans *Bibliotheca mathematica*, 13 (1912-1913), p. 273-280 : les seules critiques formulées par Birkenmajer portent sur la filiation des manuscrits proposée par Björnbo.

[5] Cf. *L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile*. Édition critique et exégétique par A. Lejeune (Louvain, 1956) ; 2e édition, augmentée d'une traduction française et de compléments (Leiden, 1989). (Désormais cité : Lejeune)

Nous avons entièrement collationné ce ms. sur microfilm, et nous en donnons les variantes au complet dans l'apparat critique.

B Bâle, Öffentliche Bibliothek der Universität, F. II. 33. Écrit dans une région germanique au milieu du XIVe siècle. *De aspectibus* : fol. 122^v^-127^r^.

Björnbo-Vogl, p. 124-129.

Lejeune, p. 39*.

A.A.Björnbo, "Über zwei mathematischen Handschriften aus dem vierzehnten Jahrhundert", *Bibliotheca Mathematica*, 3e série, 3 (1902), p. 63-75.

C Oxford, Bodleian Library, Corpus Christi College 254. Ecrit au début du XIVe siècle. *De aspectibus* : fol. 207^r^-212^r^. Manquent les deux premières propositions. Incipit : "Umbras quoque corporibus maiores videmus cum candelas...".

Le début du texte a été rajouté au XVIe siècle, fol. 213^r^-214^r^ (partie du ms. désignée par *C'* dans la liste de Björnbo).

Björnbo-Vogl, p. 129-130.

J Séville, Biblioteca Colombina, 7-6-2. Écrit par plusieurs mains, XIIIe-XIVe siècles. *De aspectibus* : fol. 141^v^-162^r^, écrits à la fin du XIIIe siècle. *Aristoteles Latinus, Codices*, II, p. 829-830, n° 1185, et *Supplementa altera*, p. 126.

Ch. Lohr, "Aristotelica Hispalensia", *Theologie und Philosophie*, 50 (1975), p. 547-564, aux p. 552-553.

Nous avons entièrement collationné ce ms., et nous en donnons les variantes au complet dans l'apparat critique.

K Cracovie, Bibl. Jagiellonska 569. Écrit au début du XIVe siècle. *De aspectibus* : p. 250-261.

Björnbo-Vogl, p. 132-134.

Lejeune, p. 42*-43*.

M Milan, Bibliotheca Ambrosiana, P 21 sup. Écrit à la fin du XIVe siècle ou au début du XVe siècle. *De aspectibus* : fol. 135^r^-162^r^.

Björnbo-Vogl, p. 136-137.

Ms. vu sur microfilm, mais non retenu pour l'édition.

O Oxford, Bodleian Library, Ashmole 357. Écrit au XIVe siècle. *De aspectibus* : fol. 91^r^-97^v^. Le traité d'al-Kindī est incomplet de la fin, il s'arrête au milieu de la seizième proposition. Explicit : "...Quod est si preparavimus corpus tersum et posuerimus eius superficiem transeuntem per lineam ab et obuiauerimus cum tabula transeunte per lineam uz".

Björnbo-Vogl, p. 137-138.

P Paris, Bibliothèque nationale, lat. 9335. Écrit dans la région de Padoue et Venise, au début du XIIIe siècle. *De aspectibus* : fol. 75^r-82^r.
Björnbo-Vogl, p. 138.
A.A. Björnbo, "Über zwei mathematischen Handschriften aus dem vierzehnten Jahrhundert", *Bibliotheca Mathematica*, 3e série, 3 (1902), p. 63-75.
F. Avril et M.-Th. Gousset, *Manuscrits enluminés d'origine italienne*, t. 2, XIIIe siècle (Paris, 1984), p. 1 et 5.
Ms. entièrement collationné par nous, et choisi comme base de notre édition.

R Paris, Bibliothèque nationale, lat. 10260. Écrit dans la seconde moitié du XVIe siècle. *De aspectibus* : fol. 153^r-169^r. Le traité d'al-Kindī est incomplet du début et de la fin. Il commence après le début de la quatrième proposition et finit dans le cours de la vingt-deuxième proposition. Incipit : "secundum rectitudinem perueniet ad unam candelarum et diuidet ipsam...". Explicit : "...sicut proportio uirtutis partis eius ad ipsam partem. Quod sic probatur.".
Björnbo-Vogl, p. 139-140.
Lejeune, p. 43*.
A. Lejeune, "Trois manuscrits de l'*Optique* de Ptolémée descendants du *Vaticanus Latinus 2975*", *Scriptorium*, 4 (1950), p. 18-27.
Ms. vu par nous, mais non retenu pour l'édition.

S Oxford, Bodleian Library, Saville 24. Écrit au XVIe siècle. *De aspectibus* : fol. 139^r-167^v.
Björnbo-Vogl, p. 140-141.
Lejeune, p. 43*-44*.

T Rome, Biblioteca Nazionale Centrale, 2548 (Gesuiticus 419 / H.C. 93). Écrit au XVIe siècle. *De aspectibus* : fol. 107^r-122^v. Le traité d'al-Kindī est incomplet du début et de la fin. Il commence après le début de la quatrième proposition et finit dans le cours de la vingt-deuxième proposition. Incipit : "secundum rectitudinem perueniet ad unam candelarum et diuidet ipsam...". Explicit : "... sicut proportio uirtutis partis eius ad ipsam partem. Quod sic probatur.".
Björnbo-Vogl, p. 141-142.
Lejeune, p. 44*-45*.

V Vatican, Bibliotheca Apostolica, Vat. Lat. 2975. Écrit à la Bibliothèque Vaticane par Federico Ranaldi en 1554. *De aspectibus* : fol. 216^r-231^v. Le traité d'al-Kindī est incomplet du début et de la fin. Il commence après le début de la quatrième proposition et finit dans le cours de la vingt-deuxième proposition. Incipit : "secundum rectitudinem

perueniet ad unam candelarum et diuidet ipsam...". Explicit : "...sicut proportio uirtutis partis eius ad ipsam partem. Quod sic probatur.".

Björnbo-Vogl, p. 142-144.

Lejeune, p. 45*.

A. Lejeune, "Codex Vaticanus Latinus 2975", *Bulletin de l'Institut historique belge de Rome*, 24 (1947-1948), p. 123-137.

Fragment : Oxford, Bodleian Library, Digby 168, fol. 129^{r}-130^{v}. XIIIe-XIVe siècle.

Classement des manuscrits

Il n'est pas ici dans notre intention de faire l'étude complète et détaillée de la tradition manuscrite du *De aspectibus*, mais seulement de classer les manuscrits utiles à l'édition, dans le but de ne retenir que ceux de ces manuscrits qui sont nécessaires à cette édition.

Dans cette idée, on peut exclure d'emblée de notre examen plusieurs manuscrits qui ne sont d'aucun intérêt pour l'établissement du texte. Ce sont :

- le court fragment du manuscrit Digby 168.
- le manuscrit *S* qui est un descendant de *K*, corrigé conjecturalement : sur ce point, Lejeune p. 96*-99* confirme et précise, pour l'*Optique* de Ptolémée, la conclusion à laquelle Björnbo était parvenu pour le *De aspectibus* (Björnbo-Vogl, p. 161).
- les manuscrits du groupe *R V T* qui tous trois contiennent exactement la même portion du traité d'al-Kindī, avec les mêmes lacunes au début et à la fin. Les études de Lejeune citées plus haut sous chacun de ces manuscrits ont montré qu'ils dérivent d'un ancêtre commun. S'agissant de l'*Optique* de Ptolémée, cet ancêtre appartiendrait à la famille de *B* et *K* selon Lejeune, p. 62*-63*. Pour ce qui concerne le *De aspectibus*, en revanche, il est aisé de constater que les manuscrits *R V T* appartiennent au même groupe que *A*, comme Björnbo l'a montré (Björnbo-Vogl, p. 159-160). Nous l'avons, de plus, vérifié nous-même en comparant les manuscrits *A* et *R* sur l'ensemble du texte, et en relevant les omissions, puis les fautes communes. Par suite, les manuscrits *R V T* peuvent être éliminés de notre étude, en tant que témoins très tardifs, et de médiocre qualité, d'un groupe dont *A* est un excellent représentant.
- le très médiocre manuscrit *M*, qui est étroitement apparenté au groupe des excellents manuscrits *P* et *A*, mais qui est gâté par un nombre considérable de fautes, comme nous l'avons nous-même constaté : ces fautes et cette parenté, réunies, conduisent à éliminer ce manuscrit de notre étude.

Ces éliminations prononcées, il reste donc à examiner les relations des manuscrits *A B C J K O P*. Nous avons d'abord relevé les omissions importantes (plus de deux mots) qui se rencontrent dans un seul ou dans

plusieurs de ces manuscrits. Pour ce faire, nous avons tenu compte des corrections apportées par les copistes. Ainsi nous désignons par P^0 le texte du manuscrit *P* avant les corrections effectuées en marge ou en interligne par le copiste unique du manuscrit en question, et par P^1 le texte considéré comme incluant la correction. De même, A^0 désigne le texte du manuscrit *A* avant les corrections faites par le copiste lui-même, et A^1 le texte tel qu'il subsiste après ces corrections. En revanche J^2 désigne évidemment une main plus récente que celle du copiste J^1 qui a transcrit le *De aspectibus*. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau ci-dessous.

	A^0	A^1	B	C	J^1	J^2	K	O	P^0	P^1
A^0	11									
A^1		4								
B			14							
C			2	32						
J^1					11					
J^2						3				
K							21			
O								8		
P^0									1	
P^1										0

Ce tableau met en évidence la qualité de certains manuscrits, la médiocrité de certains autres. La seule omission importante de P^0 est corrigée par le copiste lui-même en marge. Des onze omissions de A^0, sept sont corrigées par la première main. Parmi les quatre qui restent, trois sont des sauts du même au même et la dernière est l'omission de *quod demonstrare voluimus* à la fin d'une démonstration. Quant aux onze omissions de J^1, huit sont corrigées par une main postérieure. Les manuscrits *B C K*, en revanche, comportent un grand nombre d'omissions importantes. Mais, dans ce tableau, le trop petit nombre d'omissions importantes communes à plusieurs manuscrits ne permet pas de les classer. Nous avons donc relevé aussi, de manière systématique, les additions importantes (plus de deux mots), ainsi que les omissions et additions de moindre importance, communes à plusieurs manuscrits. L'ensemble de ces décomptes, trop longs pour figurer ici, nous a conduit à la conclusion que les manuscrits se répartissent en deux classes principales : *P* et *A* d'une part, *J K O* d'autre part, les manuscrits *B* et *C* se rattachant à la fois à l'une et l'autre de ces deux classes. Une analyse plus fine des accidents de toutes sortes que contiennent ces manuscrits a confirmé cette conclusion. C'est ainsi que nous avons relevé une dizaine de variantes ou fautes communes à *J* et *K*, et à eux seuls, qui forment donc un sous-groupe. S'agissant, d'autre part, de *B* et *C*, ils refont ensemble le texte en quatre occasions, deux fois à l'identique, deux fois avec omission d'un et de deux mots respectivement dans *C* par rapport à *B*, ce qui atteste la parenté de ces deux manuscrits.

Une autre remarque intéressante se dégage des confrontations que nous avons effectuées, à savoir que le manuscrit *P* n'a, en commun avec les autres manuscrits, aucune omission, mais seulement des additions (si l'on tient compte des corrections faites par le copiste de *P* lui-même). On trouve dans les marges de *P* deux types de notes : des corrections, rarement, et sept gloses. L'une de ces gloses (*id est axe*, 9.30) est reprise en interligne par *A* et *O*. Une autre (*id est in qua est*, 10.7) est incluse dans le texte de *C*. Une autre (*vel non videntur circuli*, 7.22) est incluse dans le texte par *A C K* (avec des variantes mineures de mot : *vel/et*, ou de place). Des quatre gloses restantes, *J* inclut l'une dans le texte en la déplaçant (*id est per se nota*, 12.16 ; voir 12.19) et reprend les deux autres en marge (19.66 et 20.2). Une seule glose de *P* n'est reprise par aucun des autres manuscrits (12.52).

Le manuscrit *P*, comportant trois omissions mineures (*nos*, 11.79, *ut*, 13.105, *a*, 20.21), qui ne se retrouvent pas dans les autres manuscrits, ne peut être leur source directe. Mais l'ensemble des informations recueillies à son sujet, et son ancienneté, le font apparaître comme très proche de l'ancêtre commun des deux branches de la tradition. Il est très proche aussi de l'origine même de la tradition du *De aspectibus*. Nous avons fait le compte de l'ensemble des accidents (omissions et additions, à l'exclusion des fautes et variantes) pour chacun des manuscrits. En voici le résultat : *A* 27, *B* 130, *C* 99, J^1 71 (J^2 48), *K* 100, *O* 37, *P* 3 (ce résultat devant être immédiatement corrigé en tenant compte du fait que *O* est incomplet d'un bon quart du texte). Le manuscrit *P* présente donc un très petit nombre d'accidents, aussi bien en valeur absolue que par comparaison avec les autres manuscrits. Lorsque même on ajoute à ces accidents une douzaine de fautes évidentes (d'accord grammatical ou de lettre dans les démonstrations géométriques), *P* est d'une remarquable qualité. Si l'on prend en considération le fait que toute copie manuscrite médiévale comporte un certain nombre de fautes par rapport au texte copié, une faute par page environ pour un copiste moyen selon A. Dain[6], il est clair que *P* est l'aboutissement d'une tradition très courte.

D'après l'étude des enluminures, les auteurs du catalogue cité plus haut, F. Avril et M.-Th. Gousset, ont conclu que *P* a été copié à Padoue ou Venise, et qu'il remonte au début du XIIIe siècle[7], et non point au XIVe siècle comme on l'a cru longtemps. La diffusion des traductions de Gérard de Crémone en Italie s'est faite, semble-t-il, très rapidement : dès 1198, par exemple, la traduction du *Microtegni* de Galien par Gérard était connue d'un maître Urso Laudensis qui enseignait à Crémone[8]. Il est tout à fait vraisemblable que beaucoup d'autres traductions de Gérard

---

[6] Cf. A. Dain, *Les manuscrits* (Paris, 1949), p. 43.

[7] Cf. les références données, sous *P*, dans la liste des manuscrits.

[8] Cf. M.-Th. d'Alverny, "Translations and Translators", dans *Renaissance and Renewal in the Twelfth Century*, éd. R.L. Benson and G. Constable (Oxford, 1982), p. 421-462, à la p. 458.

furent apportées en Italie, peu après sa mort en 1187, par certains de ses disciples ou élèves, peut-être originaires de ce pays. Le manuscrit *P* pourrait ainsi avoir été copié sur un manuscrit (ou plusieurs manuscrits) des traductions de Gérard apporté de Tolède à la fin du XIIe ou au début du XIIIe siècle. Comme certains érudits l'ont déjà noté[9], ce manuscrit constitue, à lui seul, une véritable anthologie de traductions faites par Gérard, d'œuvres mathématiques et astronomiques principalement. Ajoutons que la totalité des textes contenus dans *P* sont des traductions de l'arabe au latin et que, selon nous, il y a lieu de penser que toutes ces traductions sont l'œuvre de Gérard[10].

En conclusion de notre étude codicologique, le manuscrit *P* s'est imposé, à l'évidence, comme devant être le manuscrit de base de notre édition. Nous avons utilisé aussi le manuscrit *A*, qui présente un très petit nombre d'accidents. Dans la famille *J K O*, nous avons utilisé *J*, non seulement parce qu'il n'a jamais encore été utilisé, mais aussi pour son intérêt intrinsèque : c'est le plus ancien du groupe, et il a fait l'objet d'une révision soignée, à partir d'un manuscrit proche de l'origine commune des deux branches de la tradition. En revanche, *K* est très fautif ; *O* l'est moins, mais il est incomplet, et parfois il refait le texte, ce qui le rend peu fiable ; *B* et *C* sont de très mauvais manuscrits, qui refont aussi parfois le texte : nous avons donc négligé tous ces manuscrits. En ne conservant que *P A* et *J* pour établir le texte, nous n'omettons aucune branche de la tradition, comme l'étude ci-dessus l'a montré. Nous avons, d'autre part, une base suffisamment large, comme la lecture même de l'apparat critique le montrera *a posteriori*.

Apparat critique

L'apparat critique représente la collation des trois manuscrits *P A J* pour le texte complet du *De causis diversitatum aspectus*. On notera, pour les manuscrits *P* et *A*, quelques divergences, d'ailleurs peu nombreuses, entre notre apparat et celui de Björnbo. S'agissant de *P*, les divergences sont toujours en faveur du manuscrit : autrement dit, certaines leçons de *P* rejetées par Björnbo sont en fait des erreurs de lecture de ce dernier.

---

[9] Cf. par exemple M.-Th. d'Alverny, "Translations and Translators", p. 452.

[10] Dans son article "Gerard of Cremona", paru dans le *Dictionary of Scientific Biography*, éd. Ch.C. Gillespie, t. 15 (1978), p. 173-192, R. Lemay indique, à la p. 188, que le ms. BN lat. 9335 contient une douzaine de traductions faites par Gérard de Crémone. Mais la simple comparaison de la liste des œuvres traduites par Gérard (donnée dans le même article) avec la liste des œuvres contenues dans ce même ms. montre qu'une vingtaine au moins de celles-ci (et non point une douzaine seulement) sont des traductions exécutées par Gérard. Dans ces conditions, il est permis de se demander si *P* n'est pas en sa totalité composé de traductions faites par Gérard, et s'il n'est pas la copie directe de textes qui auraient été apportés d'Espagne par des *socii* de Gérard, dès les dernières années du XIIe siècle ou les premières années du XIIIe siècle : la recherche sur ce point reste à faire.

Nous n'avons pas tenu compte des variantes orthographiques entre les manuscrits ayant la même leçon. Nous avons délibérément adopté la graphie du manuscrit de base *P*.

Dans les très rares cas où la leçon retenue dans le texte est tirée d'un autre manuscrit que *P A* ou *J*, nous l'avons signalé en faisant figurer exceptionnellement dans l'apparat critique la lettre désignant ce manuscrit, suivie de "Björnbo", par exemple : sint *C Björnbo* (13.7), pour marquer que nous empruntons cette leçon à l'édition de Björnbo, et non point au manuscrit lui-même que nous n'avons pas vu. Nous avons signalé, d'autre part, les corrections de Björnbo, acceptées par nous mais non attestées par les manuscrits, en faisant suivre la correction du seul nom de l'ancien éditeur, par exemple : bg *Björnbo* (22.68). Enfin, nos propres corrections sont signalées par la leçon retenue suivie de *correxi*, par exemple : in errorem *correxi* (14.15).

Les figures ont pour but d'illustrer ce que dit le texte et non point de reproduire systématiquement ce que l'on trouve dans les manuscrits. Néanmoins, elles s'inspirent évidemment des figures que l'on rencontre dans notre meilleur témoin du texte du *De aspectibus*, le manuscrit *P*.

La traduction latine

Il eût été contraire à une saine méthode de fonder une étude de la traduction latine du *De aspectibus* et de ses procédés sur un texte dont l'original arabe est perdu. Une telle étude ne pourrait se faire qu'après l'analyse d'autres traductions dues à Gérard, par confrontation directe de l'arabe et du latin. On se bornera donc ici à quelques très brèves remarques.

En premier lieu, l'attribution de cette traduction à Gérard, il faut le préciser, ne fait aucun doute. Le *De aspectibus* figure, en effet, dans la fameuse liste des traductions établie par les *socii* de Gérard, et jointe à sa traduction du *Microtegni* de Galien, liste dont l'authenticité est reconnue[11].

Le trait caractéristique principal des traductions effectuées par Gérard, on le sait, est leur extrême littéralité. Par ce trait, Gérard se présente comme le continuateur d'un autre traducteur qui exerça dans l'Espagne du XII[e] siècle, Jean de Séville. Plus encore que ce dernier, pourtant, il s'en tient à la stricte traduction *verbum de verbo*, qu'avait préconisée Boèce. Cette littéralité se manifeste au premier chef dans l'emploi de tournures syntaxiques compliquées, calquées sur les formules arabes de son modèle.

---

[11] Cette liste a fait l'objet de plusieurs éditions, dont la plus récente est due à K. Sudhoff, "Die kurze 'Vita' und das Verzeichnis der Arbeiten Gerhards von Cremona", *Archiv für Geschichte der Medizin*, 8 (1914), p. 73-82 ; cf. l'énumération des éditions par M.-Th. d'Alverny, "Translations and Translators", p. 452 n. 133. Des traductions anglaises commentées ont été données par M. McVaugh dans *A Source Book in Medieval Science*, éd. E. Grant (Cambridge Mass., 1974), p. 35-38, et par R. Lemay, "Gerard of Cremona".

De telles tournures ont été relevées à l'occasion par divers érudits dans diverses traductions de Gérard. On les retrouve dans le *De aspectibus*. Citons, par exemple : *et hoc est quod* ; *quod est quia* ; *quod est quoniam* ; *super cuius conversionem potuit* ; *quod est ex* ; etc. Le principe de la traduction *verbum de verbo* conduit, d'autre part, à la mise en place d'un vocabulaire technique particulier, dans lequel l'acception technique n'est pas toujours immédiatement apparente. Pour ces raisons, nous avons jugé bon de donner parfois, dans des notes accompagnant notre traduction, quelques éclaircissements sur des points de vocabulaire, ou sur des difficultés d'interprétation du texte latin qui nous sont souvent apparues comme liées à la méthode même de Gérard. Ces notes ne doivent évidemment pas être tenues pour un commentaire de la méthode de Gérard, qui reste à faire, d'abord, sur d'autres traductions.

APPENDICE I

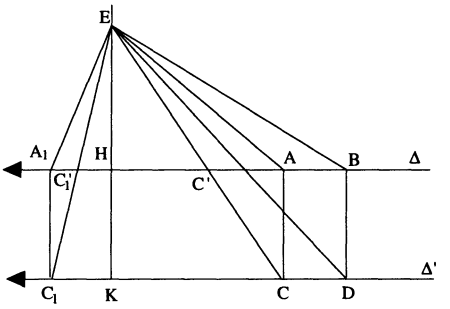
DE L'OPTIQUE : UN ANCIEN TÉMOIGNAGE SUR LA *RECTIFICATION*

Ce fragment nous est parvenu dans de nombreux manuscrits. Il suit bien souvent la rédaction d'al-Ṭūsī de l'*Optique* d'Euclide. Il a été ici établi à partir des manuscrits suivants :

Istanbul, Atif 1712, fol. 37^{v}, noté [A]
Paris, Bibliothèque nationale 2467/2, fol. 56^{v}, noté [B]
Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 40, fol. 56^{v}, noté [C].

L'Anonyme considère dans ce fragment les deux propositions suivantes :

<1> Le mouvement de chacune des grandeurs est défini par celui de A pour la première et celui de C pour la seconde. Ces points se déplacent sur des droites parallèles Δ et Δ', dans le même sens, et à tout instant, on a $AC \perp \Delta$, donc les distances parcourues par A et C pendant un temps donné sont égales.



Le rayon visuel EC rencontre Δ en C', l'œil voit C comme s'il était en avance sur A.

Quand A vient en H, C vient en K, l'œil E les voit dans la même direction, comme si A avait rattrapé C.

Qunad A est en A_1, C est en C_1 et l'œil le voit comme s'il était en C'_1, c'est-à-dire comme s'il avait pris du retard sur A.

Tout se passe donc comme si A, le point le plus proche de E, avait une vitesse supérieure à celle de C : d'abord en retard sur C, il le rattrape, puis le dépasse.

On arrive à la même conclusion en faisant appel à l'angle balayé par le rayon visuel : quand A parcout BA, le rayon visuel balaie l'angle BEA, pendant le même temps C a parcouru DC, $DC = AB$, et le rayon visuel

balaie l'angle CED, on $\angle BEA > \angle CED$, le rayon visuel EA a tourné plus vite que le rayon EC, donc A semble aller plus vite que C. Il est vrai que la dernière inégalité n'a pas été établie par al-Kindī, car il n'a étudié de tels angles que dans le cas où l'œil E se place dans la bande définie par AC et BD (voir proposition 5).

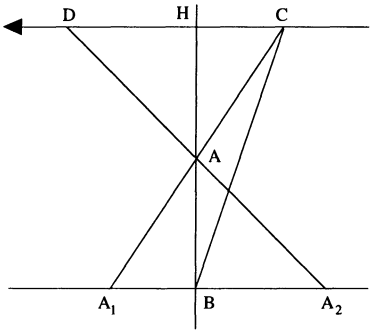
<2> L'œil se déplace sur une droite CD de C vers D, et observe deux points A et B tels que $AB \perp CD$, $HA < HB$.

A est à tout instant plus proche de l'œil que le point B :

quand l'œil est en C, il voit A en A_1 devant B ;

quand l'œil est en H, il voit A et B dans la même direction ;

quand l'œil est en D, il voit en A_2 derrière B.



TEXTE ET TRADUCTION

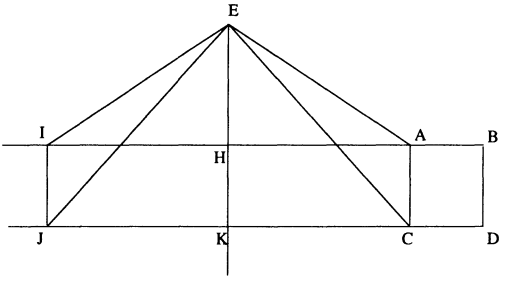
De l'Optique

Min al-Manāẓir

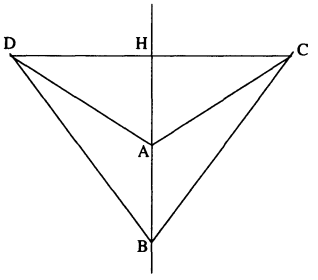
A-37^{v}
B-56^{v}
Q-88^{r}

DE L'OPTIQUE

<1> Abū Yūsuf Yaʿqūb ibn Isḥāq al-Kindī a dit dans la *Réforme du livre de l'Optique* à propos de la proposition 60 : les grandeurs en mouvement égal – soit *AB* et *CD* – suivant des droites parallèles – soit *BI*, *DJ* – qui coupent la perpendiculaire menée de l'œil – soit *E* – et suivant des angles droits, la plus proche de l'œil – soit *BA* – est vue parfois plus rapide que la plus éloignée si elle se meut dans la direction de la perpendiculaire, et <est vue> une fois <de vitesse> égale si leurs commencements aboutissent à la perpendiculaire et une fois plus lente si elle dépasse la perpendiculaire. Il a ensuite été très long pour établir son énoncé qui est évident à partir de cette figure, bien qu'elle soit une conséquence de la proposition 57.



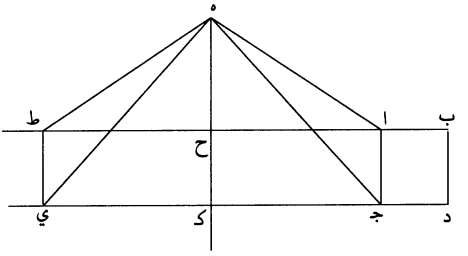
<2> Il a dit à propos de la proposition 61 : les points sur une droite, soit *AB* – si l'œil, soit *C*, est en mouvement dans la direction de la droite sur laquelle sont ceux-ci, il veut dire *AB* –, sont vus dans un ordre différent, c'est-à-dire que le plus proche de l'œil – soit *A* – est vu parfois en avance sur *B* le plus éloigné, parfois en même temps que lui suivant une droite et parfois en retard sur lui. Ceci est également évident à partir de cette figure.



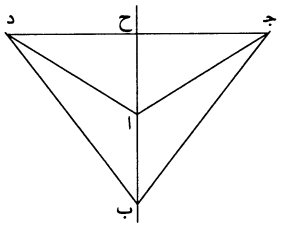
ا-٣٧-ظ
ب-٥٦-ظ
ق-٨٨-و

من المناظر

قال أبو يوسف يعقوب بن إسحاق الكندي في إصلاح كتاب المناظر في شكل سَ: الأقدار المتساوية الحركة كـ آ ب جـ د على خطوطٍ متوازيةٍ - كـ ب ط د ي - قاطعةٍ للعمود الخارج من البصر - كـ هَ - وعلى قوائم، يرى أقربُها من البصرِ - وهو ب آ - تارة أسرع من الأبعد إذا كان متوجّهًا إلى العمود، ومرة مساويًا له إذا انتهت أوائلها إلى العمود، وأخرى أبطأ إذا جاوز العمود. ثم طوّل في إبانة دعواه؛ وهو ظاهر من هذا الشكل، مع أنه من لوازم شكل نز.



وقال في سآ: كلّ العلامات التي على خط مستقيم - كـ آ ب - إذا كان البصر وهو جـ متحركًا نحو سمت الخط الذي هي عليه يعني آ ب - فإنها ترى مختلفة الترتيب، أعني أن الأقرب من البصر كـ آ يرى تارة متقدمًا على ب الأبعد، ومرة معه على خط مستقيم وأخرى متأخراً عنه. وهو أيضًا ظاهر من هذا الشكل.



2 كتاب المناظر: هذا الكتاب، والمقصود «المناظر» لورود الفقرة بعد تحرير الطوسي له [ا، ق] - 4 قاطعة: قاطع [ق] / البصر: النظر [ق] / وعلى: ووَ على [ا] - 6 مساويًا: مساوية [ق] - 9 سآ كلّ: شامل [ق] - 10 الذي: التي [ا، ب، ق] - 13 الشكل: نجد بعدها في [ق] «في اليوم السادس من شهر رجب الفرد لسنة ستّ وأربعين ومائة وألف بقلم الفقير مصطفى صدقي عفى عنه».

APPENDICE II

LA CATOPTRIQUE DE QUSṬĀ IBN LŪQĀ

Introduction

Vers le milieu du IXe siècle, à Bagdad, un concitoyen et collaborateur d'al-Kindī, Qusṭā ibn Lūqā[1], s'occupait lui aussi, en géomètre, d'optique. Son livre, *Kitāb fī ʿilal mā yaʿriḍu fī al-marāyā min ikhtilāf al-manāẓir*, *Livre sur les causes de la diversité des perspectives qui se produit dans les miroirs*, est sur ce sujet la seule œuvre d'importance de cette époque, non rédigée par al-Kindī, qui nous soit parvenue. Il s'agit pour l'essentiel d'une catoptrique rédigée vraisemblablement après 865 et avant 890, et ainsi postérieure aux écrits d'al-Kindī – elle est en effet dédiée à al-Muwaffaq[2]. Voilà un précieux document pour l'historien de l'optique et de la catoptrique grecques et arabes, et notamment de celle de la tradition de ce que par commodité on nomme "le cercle d'al-Kindī". Ibn Lūqā lui-même a la réputation d'un éminent traducteur ; il avait accès aux écrits hellénistiques aujourd'hui disparus, mais dont nous apercevons la présence en filigrane. En rapport de collaboration avec al-Kindī, il ne pouvait méconnaître ses recherches en optique et en catoptrique. De quelque point de vue que ce soit, on ne peut donc négliger ce livre d'Ibn Lūqā, si l'on veut mieux situer la contribution d'al-Kindī. Il ne s'agit en l'occurrence ni d'une exigence de complétude, ni d'un appel à la prudence méthodologique, mais d'une nécessité qui s'est imposée à nous lors de l'analyse de l'œuvre d'al-Kindī. Aussi avons-nous entrepris la tâche supplémentaire de rendre ce texte accessible au lecteur des textes d'al-Kindī, pour lui donner les moyens de mieux situer ceux-ci entre les écrits des contemporains du philosophe. Nous donnons pour cette raison l'*editio princeps* et la première traduction du livre d'Ibn Lūqā.

Ce livre se distingue, à première vue, des écrits d'al-Kindī dont nous disposons, et ceci sous deux rapports qui pourraient intéresser la recherche future. Les travaux d'al-Kindī, on pourra le vérifier, sont rédigés *more geometrico* : on prend soin de donner l'énoncé pour passer à l'exemple, puis à la démonstration. Le livre de Qusṭā, en revanche, est

---

[1] Sur la vie et l'œuvre de Qusṭā ibn Lūqā, cf. Diophante, *Les Arithmétiques*, Texte établi et traduit par R. Rashed, 2 vol. (Paris, 1984), t. III, Introduction.

[2] Abū Aḥmad al-Muwaffaq (229/843 - 278/891) est le frère du calife al-Muʿtamid (870-872). Al-Muwaffaq n'était pas un simple prince, mais il partageait en fait le pouvoir avec son frère, ou mieux encore il avait la réalité du pouvoir entre ses mains.

D'après le dédicace, Qusṭā ne s'adresse pas à un jeune prince, mais à l'homme d'État. Il est donc raisonnable de supposer que Qusṭā ibn Lūqā a rédigé son livre à Bagdad [il cite même le Tigre dans son texte], au cours de la décennie 70 au plus tôt. Par conséquent ce livre serait plus tardif que ceux d'al-Kindī.

écrit sous la forme question/réponse, qui n'est pas sans rappeler celle des *problèmes aristotéliciens*[3] et de leurs succédanés. Remarquons encore que les questions commencent souvent par l'expression *li-ayya 'illa*, que l'on doit rendre littéralement en français par "par quelle cause...", et qui semble bien correspondre au "διὰ τί" des *Problèmes*. Un second trait, lié en quelque sorte au précédent, distingue le livre de Qusṭā : un style descriptif, loin du style démonstratif d'al-Kindī. Il arrive en effet à Qusṭā de se satisfaire d'une simple description, ou d'une simple représentation géométrique, sans proposer de véritable preuve. Cette licence qu'il s'autorise surprend d'autant plus que dans l'introduction il exige de vraies démonstrations en ces matières. Mais il est difficile de mesurer la portée de ces traits distinctifs, tant que l'écrit d'al-Kindī, *Sur les causes de la diversité des perspectives dans le miroir*, demeure introuvable, ce qui nous interdit une comparaison plus serrée.

Un même regard global fait ressortir quelques traits communs à al-Kindī et à Ibn Lūqā : une communauté lexicale, qui ne réduit cependant pas la diversité des styles ; une conception de l'optique et de la catoptrique qu'ils partagent, même s'ils l'explicitent différemment, et aussi quelques notions de base qu'ils ont en commun.

Ainsi qu'il ressort des titres des deux livres, celui d'al-Kindī et celui d'Ibn Lūqā, ce n'est pas seulement la diversité des perspectives qui les occupe, mais aussi "les causes" de celle-ci. Cette recherche "des causes" semble avoir engagé les deux savants à dépasser l'exposé géométrique. L'un comme l'autre entendent explicitement combiner géométrie de la vision et physiologie de la vision, ou, comme l'écrit Ibn Lūqā :

> Des sciences démonstratives, la meilleure est celle à laquelle participent la science physique et la science géométrique, car de la science physique elle emprunte la perception sensorielle, et de la science géométrique les démonstrations géométriques[4]. Je n'ai rien trouvé où se réunissent ces deux arts de plus beau ni de plus parfait que la science des rayons, surtout ceux qui sont réfléchis sur les miroirs[5].

Ainsi, aussi bien pour al-Kindī, comme nous l'avons déjà noté, que pour Qusṭā, la présence de cette dimension physique interdit de réduire l'optique ou la catoptrique à la géométrie ; il faut au contraire combiner

---

[3] Cf. Marwan Rashed, "Notes sur la tradition gréco-arabe des problèmes aristotéliciens", à paraître dans *Arabic Sciences and Philosophy*.

[4] Tout au long de son texte, Ibn Lūqā utilise les expressions *burhān khaṭṭī*, *mithāl khaṭṭī*, *shakl khaṭṭī*, dont la traduction littérale est "démonstration linéaire", "exemple linéaire", et "figure linéaire", composée de lignes. Il reste qu'"une démonstration linéaire" (par les lignes) n'est rien d'autre qu'une démonstration géométrique. Il en est de même pour "exemple" et "figure". C'est cette traduction que nous avons adoptée pour ne pas surprendre le lecteur de notre temps. Voir p. 568.

[5] Voir *infra* p. 573, *l.* 15-19.

géométrie et physique, en raison des propriétés sensorielles de la perception visuelle.

D'autre part, les deux savants du IXe siècle partagent pour l'essentiel la même doctrine de la vision : tous deux optent pour la doctrine de l'émission, mais, alors qu'al-Kindī observe un silence délibéré sur certains détails, Ibn Lūqā donne à la doctrine une allure plus galénique. Comme pour al-Kindī, et dans les mêmes mots, pour Ibn Lūqā la vision s'opère "par un rayon qui se disperse (*yanbathth*) à partir de l'œil et qui tombe sur les visibles qui seront vus par les rayons qui tombent sur eux. Ce sur quoi tombe le rayon visuel est vu par l'homme et ce sur quoi ne tombe pas le rayon visuel ne sera pas vu par l'homme"[6]. Ibn Lūqā introduit ensuite la notion de cône visuel, sans discuter de sa nature – contrairement à al-Kindī – sans même se demander s'il est continu ou discret. Mais, à ce matériau euclidien, Ibn Lūqā superpose d'autres éléments, galéniques, d'après lesquels "ce rayon visuel se disperse à partir de l'esprit psychique (*al-rūḥ al-nafsāniyya* – πνεῦμα ψυχικόν) qui émerge du cerveau jusqu'à la pupille à travers les deux nerfs creux qui traversent du cerveau jusqu'aux deux yeux, et se disperse de l'œil dans l'air jusqu'aux visibles pour être comme l'organe de l'homme"[7]. Ce rayon visuel ne perçoit cependant les visibles qu'à l'aide de l'une ou l'autre espèce des rayons énumérés par Ibn Lūqā, qui sont le rayon solaire et le rayon de feu. Chacun de ces deux rayons "imprègne l'air d'une luminosité sans laquelle il n'y a pas de vision et dans laquelle celle-ci a lieu"[8].

L'objet premier de la catoptrique d'Ibn Lūqā demeure l'étude de la réflexion sur les miroirs plans, sphériques convexes et concaves, et la diversité des images perçues en fonction de la position du visible par rapport au miroir, de sa distance à celui-ci, etc. Mais, avant d'entreprendre cette étude, Ibn Lūqā commence par quelques explications d'optique, sur la vision directe, explications qu'il présente comme propédeutiques (*tauṭi'a*), à la recherche des démonstrations dans la partie catoptrique centrale du livre. Cette partie préalable est longue, relativement à l'ensemble du livre. Son passage sur l'optique comporte les six premiers chapitres où Ibn Lūqā explique ce qu'il entend par rayon et cône visuels, diamètre apparent, diplopie monoculaire, et diplopie binoculaire. Au chapitre 7, il énumère les corps polis, liquides et solides. Dans les deux chapitres suivants, 8 et 9, il traite de la vision du visage, ou d'un visible quelconque, dans un miroir. Plus important est le chapitre 10, où Ibn Lūqā étudie la réflexion sur une surface polie, et rappelle l'égalité des angles que forment le rayon incident et le rayon réfléchi avec la surface du miroir. Mais à aucun moment, ni dans ce chapitre, ni dans le chapitre 22 consacré au miroir plan, ni du reste dans aucun autre chapitre relatif à un miroir sphérique, il n'est précisé que le rayon incident, le

---

[6] Voir *infra* p. 581, *l.* 17-19.
[7] Voir *infra* p. 581, *l.* 21-23.
[8] Voir *infra* p. 583, *l.* 12.

rayon réfléchi et la normale à la surface réfléchissante sont dans un même plan. Cette propriété semble cependant sous-entendue, et c'est ce plan qui est pris comme plan de figure.

Rappelons, plus généralement, qu'Ibn Lūqā étudie principalement la forme sous laquelle un observateur voit dans un miroir son propre visage. Ce miroir peut être plan ou sphérique, concave ou convexe. Le but de sa recherche est de déterminer l'angle sous lequel l'observateur voit son visage dans le miroir considéré ; il ne s'applique pas – sauf dans la proposition 22 – à construire l'image optique du visage. Cette notion d'image optique, réelle ou virtuelle, est étrangère à cette optique.

Les sept chapitres – 11 à 17 – sont consacrés à la matière et à la forme des miroirs – plane, sphérique concave, sphérique convexe – et au degré de la perfection de cette forme.

Dans les quatre chapitres suivants – 18 à 21 – Ibn Lūqā traite de la distinction entre le visage vu "déformé" et le visage vu "sous forme différente". Il est vu "sous forme différente" lorsqu'il apparaît plus grand ou plus petit, droit ou inversé, mais avec les mêmes proportions. Le visage et son image sont alors des figures géométriques semblables. En revanche, le visage apparaît "déformé" si les proportions ne sont pas les mêmes. C'est par exemple ce qui a lieu si le visage est vu dans un miroir cylindrique.

C'est dans les chapitres qui suivent (à partir du chapitre 22) que se développe la partie la plus géométrique du livre d'Ibn Lūqā. Nous allons reprendre systématiquement ces chapitres.

Au chapitre 22, Ibn Lūqā veut montrer que le visage apparaît avec sa grandeur réelle dans un miroir plan.

Que la droite $KABL$ représente le miroir dont le plan est perpendiculaire au plan de la figure. Le visage représenté par le segment CD est supposé parallèle au plan du miroir, l'œil au point E.

Par hypothèse, les rayons EA et EB sont réfléchis suivant AC et BD, et les points F et G sont respectivement symétriques des points C et D par rapport à la droite AB. Les droites CA et DB se coupent en M ; ce point est symétrique de E par rapport à AB, il est donc sur FG. Les points F, G et M sont donc les images virtuelles des points C, D et E dans ce miroir ; mais Ibn Lūqā n'avait pas, nous l'avons dit, cette notion d'image, et ne pouvait donc affirmer cette proposition.

D'après la symétrie par rapport à AB, on a $FG = CD$ et $\widehat{FEG} = \widehat{CMD}$. L'œil en E voit FG – image virtuelle de CD – sous l'angle FEG, et un œil placé en M verrait, sans l'aide du miroir, le segment CD sous l'angle CMD égal à l'angle FEG. Les distances de E et M au miroir sont donc égales, d'où la conclusion d'Ibn Lūqā : le visage "est vu de la même grandeur que sans miroir", c'est-à-dire qu'il apparaît dans sa vraie grandeur.

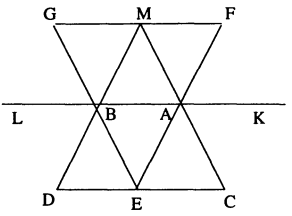


Fig. 1

Dans les deux chapitres suivants, Ibn Lūqā considère ce même problème successivement pour le miroir sphérique convexe et pour le miroir sphérique concave. Dans ces deux cas, on donnera les conclusions en comparant ce qui apparaît dans chacun de ces miroirs à ce qui apparaît sous le même angle dans le miroir plan.

1. *Miroir sphérique convexe*

Ibn Lūqā traite ce miroir dans les chapitres 23, 25 et 27. Dans le premier chapitre, il considère le miroir convexe défini par l'arc AB et le miroir plan perpendiculaire au plan OAB suivant AB, O étant le centre de la sphère. Il montre que le visage apparaît dans ce miroir d'une grandeur *inférieure* à sa vraie grandeur.

Remarquons que si E est la position de l'œil sur l'axe Ox du miroir (Ox coupe la droite AB en X et l'arc AB en Y), la demi-droite Az, prolongement de OA rayon de la sphère, sera la bissectrice de l'angle formé par le rayon visuel EA et le rayon réfléchi qui lui correspond. Ce rayon réfléchi sera AG si l'œil est au point E_0 tel que

$$\widehat{E_0AX} = \widehat{GAz} = \widehat{OAX}.$$

Si on pose $\widehat{AOX} = \alpha$, on a

$$\widehat{OAX} = \frac{\pi}{2} - \alpha \text{ et } \widehat{E_0AX} = \pi - 2\,\widehat{OAX}.$$

Donc

$$\widehat{E_0AX} = 2\,\alpha = \widehat{AOB}.$$

Le point E_0 existe si l'arc AB choisi est tel que

$$\widehat{AOB} = 2\,\alpha < \frac{\pi}{2},$$

donc $\alpha < \frac{\pi}{4}$.

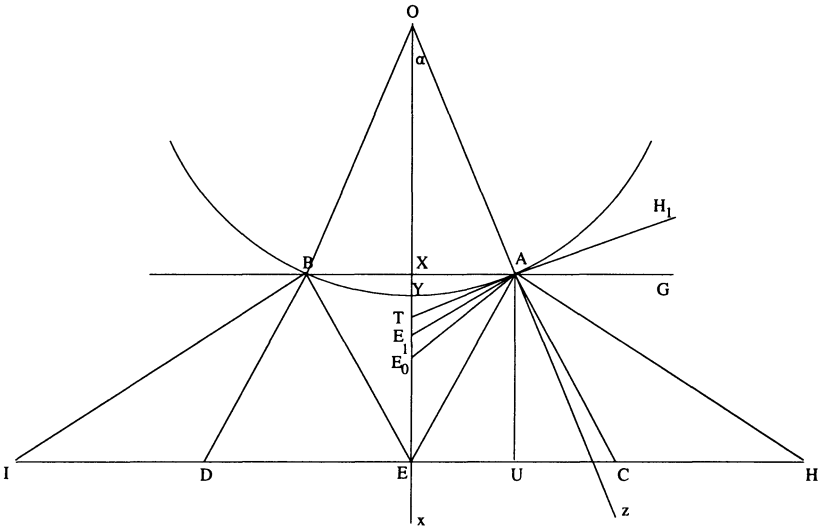


Fig. 2

Soit T l'intersection de la droite Ox avec la tangente en A à l'arc AB. Si l'œil est placé en un point E_1 du segment E_0T, le rayon E_1A est réfléchi sur le miroir convexe suivant AH_1. C'est précisément le cas que traite Ibn ʿĪsā. (Voir Appendice III).

Notons qu'Ibn Lūqā suppose dans son étude du miroir convexe que les rayons réfléchis qui correspondent à EA et EB coupent la parallèle à AB menée de E aux points H et I. On doit donc supposer que $\alpha < \frac{\pi}{4}$.

Si en revanche $\alpha \geq \frac{\pi}{4}$, le point E_0 n'existe pas. Dans ce cas, pour tout point E situé sur Tx (Fig. 3), la demi-droite AH_1, c'est-à-dire le rayon réfléchi, ne rencontre pas la parallèle à AB menée de E. Ce cas n'a pas été étudié par Ibn Lūqā. Tout se passe comme s'il n'avait reconnu, dans les chapitres 23, 25 et 27 consacrés au miroir convexe, que le cas $\alpha < \frac{\pi}{4}$.

Si l'œil est en E sur la demi-droite E_0x, le rayon EA sera réfléchi sur le miroir convexe suivant AH, et on a $\widehat{EAH} = 2\ \widehat{EAz}$ (voir Fig. 2). Soit $AU \perp AB$. Le rayon EA est réfléchi sur le miroir plan suivant AC tel que $\widehat{EAC} = 2\ \widehat{EAU}$. On a $\widehat{EAz} > \widehat{EAU}$, d'où $\widehat{EAH} > \widehat{EAC}$, et par conséquent $EH > EC$.

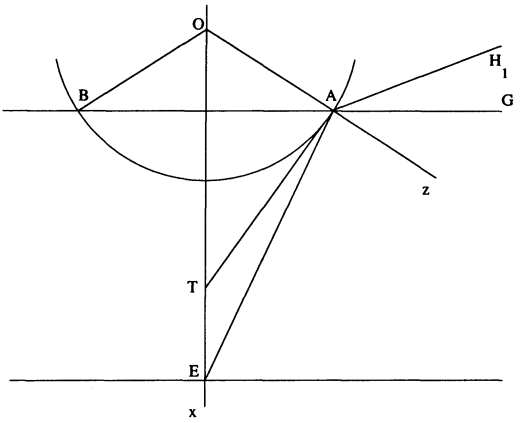


Fig. 3

Supposons que le segment $CD = 2\ CE$ représente le visage. Celui-ci apparaît dans le miroir plan sous l'angle AEB. Mais le segment vu sous le même angle dans le miroir convexe est $HI = 2\ EH$; on a $HI > CD$. Le visage sera donc vu dans le miroir convexe sous un angle inférieur à l'angle AEB, soit l'angle JEM. Ibn Lūqā a mentionné cet angle au chapitre 23, sans en indiquer la construction, qui peut se présenter ainsi :

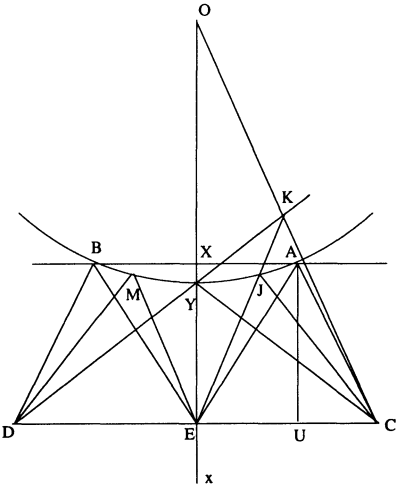


Fig. 4

Soit K l'image de C dans le miroir convexe (image virtuelle) (voir Fig. 4). Ce point K est l'intersection des droites CO et DY, car le rayon CO se réfléchit sur lui-même, et le rayon CY se réfléchit suivant DY. La

droite EK coupe l'arc AB au point J cherché, et le point M est symétrique de J par rapport à l'axe Ox.

Remarquons que cette construction suppose que l'image d'un point est un point, ce qui n'est exact que dans les cas de l'approximation de Gauss.

Dans le chapitre 25, Ibn Lūqā veut montrer que, dans le miroir convexe, le visage apparaît de plus en plus petit à mesure que l'œil s'éloigne du miroir. Il considère pour cela l'arc AB qui définit le miroir d'axe Ox, trois positions de l'œil sur celui-ci – soient les points E, F et G –, et les longueurs SX, UU' et II', vues respectivement sous les angles AEB, AFB et GB (voir Fig. 5). Il énonce cependant des résultats sans les démontrer, et sans utiliser les longueurs précédemment désignées. Nous allons discuter de ces résultats, ainsi que de la démarche d'Ibn Lūqā, dans un langage différent.

Soit X_0 le milieu de AB, considérons les cas suivants :

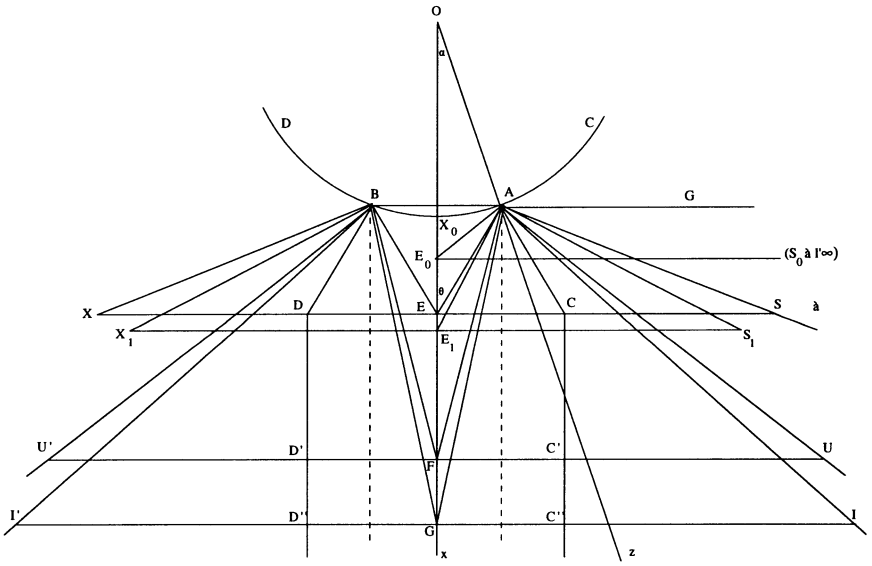


Fig. 5

a) Posons $X_0A = r$, $\widehat{AOX_0} = \alpha$, $\widehat{AEX_0} = \theta$, $\widehat{EAz} = i$.

On a $i = \theta + \alpha$ la position du point E peut être définie par l'angle i, r et α étant les données du problème.

Dans le triangle ESA, on a

$$\frac{EA}{\sin S} = \frac{ES}{\sin 2i},$$

avec

$$EA = \frac{r}{\sin\theta} \text{ et } S = \frac{\pi}{2} + \theta - 2i.$$

Mais θ = i – α, d'où

$$EA = \frac{r}{\sin(i-\alpha)} \text{ et } S = \frac{\pi}{2} - (\alpha + i) \ ;$$

on a alors

$$\frac{r}{\sin(i-\alpha)\cos(\alpha+i)} = \frac{ES}{\sin 2i},$$

d'où

$$ES = \frac{2r\sin 2i}{\sin 2i - \sin 2\alpha} = 2r + \frac{2r\sin 2\alpha}{\sin 2i - \sin 2\alpha}.$$

Quand E décrit la demi-droite $E_0 x$, θ décroît de

$$\widehat{AE_0 X_0} \text{ à } 0,$$

avec

$$\widehat{AE_0 X_0} = \frac{\pi}{2} - \widehat{E_0 AX_0} = \frac{\pi}{2} - 2\alpha \ ;$$

donc $i = \theta + \alpha$ décroît de $(\frac{\pi}{2} - \alpha)$ à α (on a supposé $\alpha < \frac{\pi}{4}$), et on a le tableau suivant :

i	$\frac{\pi}{2} - \alpha$	↘	$\frac{\pi}{4}$	↘	α
$2i$	$\pi - 2\alpha$	↘	$\frac{\pi}{2}$	↘	2α
$\sin 2i$	$\sin 2\alpha$	↗	1	↘	$\sin 2\alpha$
ES	$+\infty$	↘	$\frac{2r}{1-\sin 2\alpha}$	↗	$+\infty$

Ainsi on a pour

$i = \frac{\pi}{2}$ - α, E est au point E_0 et E_0A est réfléchi suivant AG ;

$i = \frac{\pi}{4}$, E est au point E_1, et le rayon réfléchi est AS_1.

La longueur E_1S_1 est le *minimum* de ES.

Par conséquent, quand E décrit le segment E_0E_1, la longueur ES décroît de l'infini jusqu'à $E_1S_1 = \frac{2r}{1-\sin 2\alpha}$, et quand E décrit la demi-droite E_1x, la longueur ES croît indéfiniment. Le minimum de la longueur XS est donc X_1S_1 et on a $X_1S_1 > 4r$; donc, pour toute position de E, on a $XS > 4r$.

b) Quelle que soit la position de l'œil E sur E_0x, le segment CD (le visage) vu dans le miroir plan sous l'angle $AEB = 2\theta$ a toujours la même longueur. Pour toute position de E, le point A est sur la médiatrice de EC et le point B sur celle de ED. On a $CD = 2AB = 4r$, d'où $CD < XS$. L'angle $AEB = 2\theta$ décroît et tend vers zéro quand le point E s'éloigne sur la demi-droite E_0x.

Or, on a vu (Fig. 4) que l'angle sous lequel le visage CD apparaît dans le miroir convexe est $\widehat{JEM} < \widehat{AEB}$; donc $\widehat{JEM} = 2\theta'$ tend vers zéro quand E s'éloigne indéfiniment. C'est cette conclusion, mais en d'autres mots, qu'Ibn Lūqā semble exprimer dans le dernier paragraphe.

c) Il reste qu'Ibn Lūqā voulait, si l'on en croit l'énoncé, montrer que "on voit le visage dans le miroir convexe à convexité sphérique de plus en plus petit et à mesure que croît la distance, ... jusqu'à ce qu'il ne soit plus vu du tout". Il faut donc montrer que :

1) $\widehat{JEM}$ décroît ;

2) $\widehat{JEM}$ tend vers zéro – comme on vient de le voir dans b).

Montrons que $\widehat{JEM}$ décroît.

Soit E et F deux positions de l'œil telles que $YF > YE$ (Fig. 6) ; CD et $C'D'$ les positions correspondantes du visage. Construisons les images virtuelles K et K' de C et C'. On a

$$YF > YE \Rightarrow \widehat{FOC'} < \widehat{EOC} \text{ et } \widehat{FYD'} < \widehat{EYD},$$

d'où

$$\widehat{YOK'} < \widehat{YOK} \text{ et } \widehat{OYK'} < \widehat{OYK}.$$

Le point K' est donc à l'intérieur du triangle OYK, et par conséquent

$$\widehat{YFK'} < \widehat{YEK}.$$

Or $\widehat{JEM} = 2\ \widehat{YEK}$ et $\widehat{J'FM'} = 2\ \widehat{YFK'}$, d'où $\widehat{J'FM'} < \widehat{JEM}$, donc $\widehat{JEM} = 2\ \theta'$ décroît quand la distance de E au miroir croît indéfiniment[9].

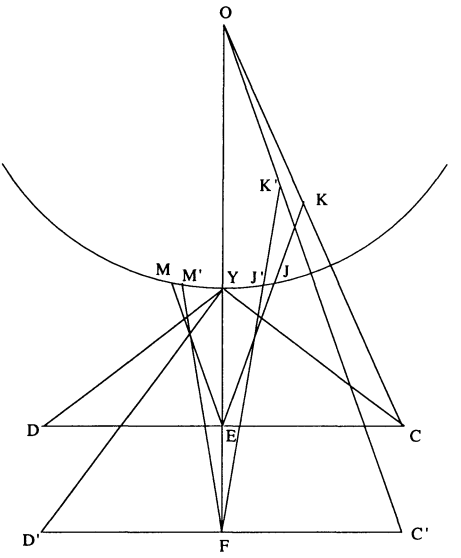


Fig. 6

À tout prendre, la démarche d'Ibn Lūqā dans ce chapitre 25 est loin d'être claire. Les points A et B sur le miroir sont fixes, l'œil s'éloigne sur l'axe du miroir, et, pour les trois positions E, F et G considérées, les segments vus successivement sous les angles AEB, AFB et AGB sont respectivement SX, UU' et II'. Ibn Lūqā ne compare pas ici les longueurs de ces segments, dont il reprendra cependant l'étude au chapitre 27. Ceux-ci ne peuvent pas représenter le visage, sinon, si les points A et B ont été choisis pour que l'œil placé en E voit le visage sous l'angle AEB, ces mêmes points ne peuvent pas convenir pour les positions F et G de l'œil, contrairement à ce qui a lieu dans le cas du miroir plan. Dans le dernier paragraphe, Ibn Lūqā fait précisément référence à ce miroir, ainsi qu'au résultat établi au chapitre 23 ; ce qui nous ramène au paragraphe b) et à la conclusion : quand E s'éloigne indéfiniment, l'angle $2\theta'$ tend vers zéro.

Au chapitre 27, Ibn Lūqā commente sa propre étude du chapitre 25, et considère alors le segment associé au faisceau réfléchi correspondant à

[9] Une étude plus élégante de l'angle JEM peut être faite à l'aide des formules classiques du miroir convexe.

chaque position E de l'œil lorsque celui-ci s'éloigne du miroir. Ibn Lūqā écrit : "l'angle des rayons s'élargit et le rayon se disperse amplement". Il s'agit en fait de l'angle du faisceau réfléchi dont les rayons divergent et donnent une "dispersion" sur le segment SX associé au point E. Examinons cette affirmation.

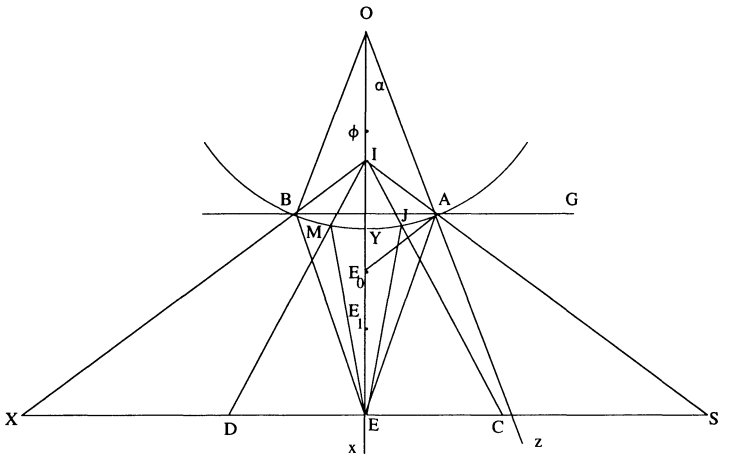


Fig. 7

Soit I l'intersection des prolongements des rayons réfléchis AS et BX ; posons $\widehat{SIX} = 2\omega$ angle du faisceau réfléchi et – comme précédemment – $\widehat{AOB} = 2\alpha$, $\widehat{AEB} = 2\theta$ angle du faisceau incident et $\widehat{EAz} = i$ (voir Fig. 7).

Pour tout point de E sur E_0x. (E_0 est le point tel que E_0A se réfléchit suivant AG), le point I (image virtuelle de E) est entre Y et Φ (intersection de OE avec la médiatrice de OA). On a

$$i = \alpha + \theta, \quad \omega = \alpha + i,$$

donc

$$\omega = 2\alpha + \theta.$$

Quand E s'éloigne, θ décroît et tend vers zéro ; donc ω décroît et tend vers 2α, et l'angle SIX) du faisceau réfléchi décroît et tend vers 4α. Par conséquent, dire, comme Ibn Lūqā, que "l'angle du rayon s'élargit", ne signifie nullement que l'angle du faisceau s'accroît, mais que les rayons réfléchis divergent.

Quant à la "dispersion", comme la nomme Ibn Lūqā, sur le segment SX, on a vu que si E décrit E_0E_1 (Fig. 5) – E_1 correspond à $i = \frac{\pi}{4}$ – la longueur SX décroît de $+\infty$ à S_1X_1 ; et que si E décrit E_1x, la longueur SX croît de S_1X_1 à $+\infty$. Ainsi il est exact de dire que, à partir de la position E_1, la dispersion sur la droite parallèle à AB et passant par E est de plus en plus grande.

Ibn Lūqā considère ensuite "la partie du rayon <réfléchi> qui tombe sur le visage". Soit CD le visage et CID la partie du faisceau réfléchi qui tombe sur lui. Comme par ailleurs I est l'image virtuelle de E, nous savons que, à tout faisceau incident de sommet E, correspond un faisceau réfléchi de sommet I.

Posons $\widehat{EIC} = \omega'$, donc $\widehat{CID} = 2\omega'$. On a

$$\frac{SX}{CD} = \frac{SE}{CE} = \frac{\text{tg } \omega}{\text{tg } \omega'}.$$

Mais CD est une longueur constante, et SX tend vers l'infini quand E s'éloigne ; donc le rapport précédent tend vers l'infini. Or ω tend vers 2α, donc tg ω' tend vers zéro ; par conséquent ω' tend vers zéro, et par suite ω / ω' tend vers l'infini. C'est cela qu'Ibn Lūqā exprime de manière intuitive lorsqu'il écrit : "jusqu'à ce que la partie du rayon qui tombe sur le visage devienne, si on la compare à la grandeur de l'angle de réflexion, sans commune mesure ...".

L'angle $JEM = 2\theta'$, sous lequel E voit le visage, décroît, et il sera suffisamment petit pour que l'œil E, à partir d'une certaine position, ne puisse plus percevoir le visage. Si E continue à s'éloigner, l'angle JEM décroît toujours, et il n'existe alors, comme l'écrit Ibn Lūqā, "aucune voie pour voir le visage dans le miroir". Si Ibn Lūqā insiste tant sur ce fait dans ce chapitre, c'est que, dans le cas du miroir concave, lorsque l'œil E vient au centre O de la sphère, il cesse de voir le visage, et quand il s'éloigne de cette position, il voit de nouveau le visage. Mais, dans le cas du miroir convexe, il n'existe pas de position de E pour laquelle ce phénomène se produise. C'est ce phénomène, ainsi que la différence à cet égard entre les deux miroirs, convexe et concave, qu'Ibn Lūqā semble avoir reconnu, au moins intuitivement, ce qui pourrait expliquer qu'il eût consacré au miroir concave le dernier paragraphe du chapitre 27, dans lequel il poursuivait l'étude du miroir convexe. Mais les idées mentionnées dans ce paragraphe seront traitées plus tard aux chapitres 30 et 32.

2. *Le miroir sphérique concave*

Ibn Lūqā consacre cinq chapitres, parmi les plus importants de son livre, au miroir sphérique concave et à la forme du visage réfléchi dans ce miroir. Il s'agit des chapitres 24, 26, 28, 30 et 32. Dans le premier, Ibn Lūqā considère un miroir concave AB d'axe OX, l'œil en E sur celui-ci et le visage dans le plan GF perpendiculaire en E à OX. Ibn Lūqā affirme alors que "on voit la forme du visage dans le miroir concave, à concavité sphérique, supérieure à celle de sa grandeur réelle". Affirmation exacte, tant que l'œil E est placé entre le centre O de la sphère et la droite CD (Fig. 8). Elle reste encore vraie quand E se situe au delà du centre, tout en en restant proche. Mais elle cesse de l'être quand E se trouve au delà d'une position E_0, comme on le verra lors de la discussion du chapitre 32. Considérons les différentes situations.

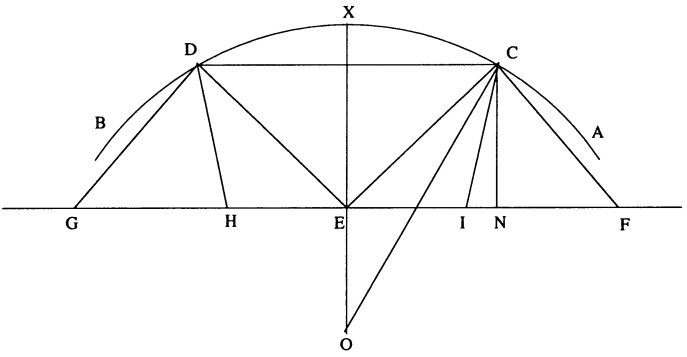


Fig. 8

Dans le cas où $XE < XO = R$ (Fig. 8), l'œil E voit dans le miroir plan le segment FG (le visage) sous l'angle CED, et voit le segment HI tel que $HI < FG$, dans le miroir concave, sous le même angle.

Soit en effet N sur GF tel que $CN \perp GF$; on a

$$\widehat{ECF} = 2\,\widehat{ECN} \quad \text{et} \quad \widehat{ECI} = 2\,\widehat{ECO},$$

d'où

$$\widehat{ECI} < \widehat{ECF} \ ;$$

on a donc $EI < EF$. De la même façon, on montre que $EH < EG$. On a donc $HI < FG$.

Ibn Lūqā admet alors l'existence d'un angle LEK (Fig. 9) sous lequel l'œil E voit le segment FG dans le miroir concave. On a

$$\widehat{LEK} > \widehat{CED},$$

d'où la conclusion. Ibn Lūqā ne donne pas la construction de cet angle : il suffit pour cela de construire le point *L*.

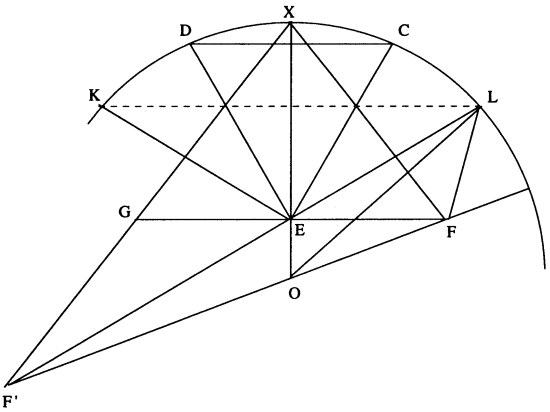


Fig. 9

Soit en effet *F'* l'image de *F* dans le miroir concave. Le point *F'* est l'intersection des droites *FO* et *XG*, car le rayon *FO* se réfléchit sur lui-même et le rayon *FX* se réfléchit suivant *XG*. La droite *F'E* coupe l'arc de cercle au point *L* cherché ; et *EL* se réfléchit suivant *LF*. Le point *K* est symétrique de *L* par rapport à *OX* ; *EK* se réfléchit suivant *KG*, donc l'œil *E* voit le segment *FG* dans le miroir concave sous l'angle *LEK*.

Dans ce paragraphe, à propos du miroir concave et comme c'était le cas pour le miroir convexe, la construction n'est exacte que dans les conditions de l'approximation de Gauss.

Les chapitres 26 et 32 sont sans doute les deux chapitres les plus importants, non seulement pour l'étude du miroir sphérique concave, mais pour l'intelligence de l'ensemble du livre d'Ibn Lūqā. Nous examinerons donc ces propositions dans des termes différents de ceux d'Ibn Lūqā, pour pouvoir apprécier ses résultats parfois par lui seulement perçus plutôt qu'établis.

Soit *O* le centre de la sphère, *D* le sommet du miroir concave *AB*, *C* le milieu du segment *AB*, *E* la position de l'œil et *S*X le segment vu sous l'angle *AEB* ; le segment *SX* est sur la perpendiculaire en *E* à *DO*, axe du miroir.

Ibn Lūqā étudie ici *la variation de la longueur de* SX *quand* E *décrit* CO, *avec* SX = 2 ES (Fig. 10).

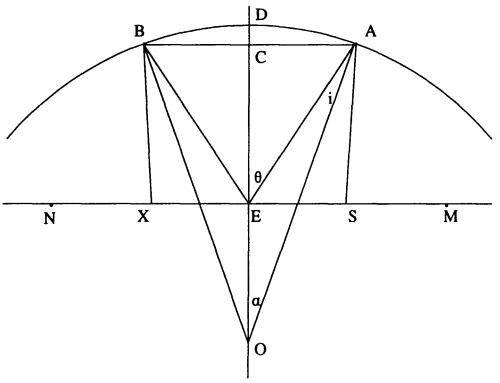


Fig. 10

Posons $\widehat{COA} = \alpha$, $\widehat{AOB} = 2\alpha$ l'ouverture du miroir, $OA = R$, $CA = r = R \sin \alpha$, $\widehat{CEA} = \theta$, $\widehat{EAO} = \widehat{OAS} = i$, $\widehat{EAS} = 2i$.

Le rayon OA est connu et fixe ; la position de E est définie par i. Dans le triangle EAS on a

$$\frac{EA}{\sin S} = \frac{ES}{\sin A},$$

avec

$$EA = \frac{r}{\sin \theta} \quad \text{et} \quad A = 2i.$$

Mais

$$S + 2i + \frac{\pi}{2} - \theta = \pi,$$

d'où

$$S = \frac{\pi}{2} + \theta - 2i = \frac{\pi}{2} - (2i - \theta) \text{ et } \theta = \alpha + i.$$

On a donc

$$ES = \frac{r \sin 2i}{\sin \theta \cos(2i - \theta)} = \frac{2r \sin 2i}{\sin 2(\theta - i) + \sin 2i} = \frac{2r \sin 2i}{\sin 2\alpha + \sin 2i},$$

que l'on peut réécrire

$$ES = 2r - \frac{2r\sin 2\alpha}{\sin 2\alpha + \sin 2i}.$$

Quand E décrit OC, θ croît de α à $\frac{\pi}{2}$, donc i croît de 0 à $\frac{\pi}{2} - \alpha$.

L'auteur ne donne aucune précision sur l'ouverture 2α du miroir. Nous supposerons d'abord que cet angle est aigu, donc $\alpha < \frac{\pi}{4}$ (condition qui est nécessaire dans la proposition 32 pour que les points S et X existent quand E est au delà du centre O). On obtient dans ce cas le tableau suivant :

i	0	↗	α	↗	$\frac{\pi}{4}$	↘	$\frac{\pi}{2} - \alpha$
$2i$	0	↗	2α	↗	$\frac{\pi}{2}$	↗	$\pi - 2\alpha$
$\sin 2i$	0	↗			1	↘	$\sin 2\alpha$
ES	0	↗	r	↗	$\frac{2r}{1+\sin 2\alpha}$	↘	r
ES	0	↗	r	↗	E_0S_0	↘	$CA = r$

Remarques :

1) Pour $i = \frac{\pi}{4}$, E est au point E_0 (Fig. 11).

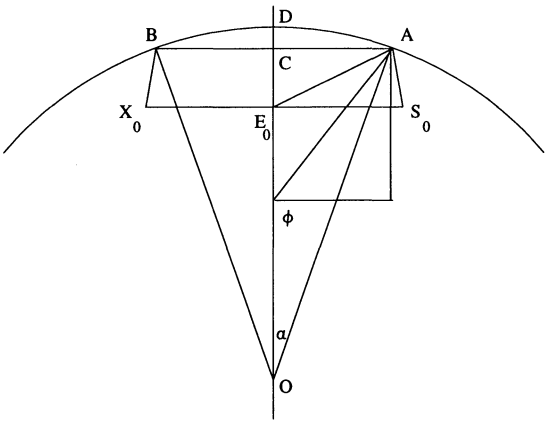


Fig. 11

On a

$$CE_0 = CA \text{ tg } \widehat{CAE_0},\ CA = r,\ OA = R \text{ et } OC = h,$$

$$\widehat{CAE_0} = \widehat{CAO} - \frac{\pi}{4} = \left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{4} - \alpha ;$$

d'où

$$CE_0 = r \text{ tg}\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right) = \text{r } \frac{1 - \text{tg } \alpha}{1 + \text{tg } \alpha} = r.\ \frac{h - r}{h + r}.$$

Dans ce cas, on a $\alpha < i$, d'où

$$OE_0 > E_0A,$$

donc

$$OE_0 > \frac{OA}{2}.$$

2) Soit Φ l'intersection de OD et de la médiatrice de OA ; quand l'œil E vient en Φ, on a $O\Phi = OA$, donc $i = \alpha$. Le rayon réfléchi AS est alors parallèle à l'axe OD, et on a $\Phi O = \frac{OA}{2\cos\alpha} = \frac{R}{2\cos\alpha}$, et $\Phi S = r$.

Notons qu'Ibn Lūqā ne mentionne ni E_0 ni Φ.

Pour résumer : quand l'œil E décrit le segment CE_0, la longueur ES croît de r à E_0S_0, $E_0S_0 > 2\ r$, quand E décrit $E_0\ \Phi$, la longueur ES décroît de E_0S_0 à r, et quand E décrit ΦO, la longueur ES décroît de r à 0. On a donc le tableau suivant :

Position de E	C		E_0		Φ		O
ES	r	↗	E_0S_0	↘	r	↘	0

La conclusion d'Ibn Lūqā dans ce chapitre 26 pour les segments XS, LK et JH n'est exacte, dans l'hypothèse $\alpha < \frac{\pi}{4}$, que si les trois points E, F et G sont sur le segment E_0O.

Supposons maintenant $\alpha \geq \frac{\pi}{4}$. Quand E décrit le segment OC, i croît de 0 à $\frac{\pi}{2} - \alpha$:

Si $\alpha > \frac{\pi}{4}$, on a $\frac{\pi}{2} - \alpha < \frac{\pi}{4} - \alpha$; i ne prendra ni la valeur α ni la valeur $\frac{\pi}{4}$, et le point E_0 n'existera pas.

Si $\alpha = \frac{\pi}{4}$, on a $\frac{\pi}{2} - \alpha = \alpha = \frac{\pi}{4}$, et dans ce cas, $E_0 = C$.

Dans cette hypothèsse la conclusion donnée par Ibn Lūqā est valable pour les points F, G et H pris sur le segment CO.

Au chapitre 28, Ibn Lūqā montre que, si l'œil est au centre de la sphère, tout rayon visuel issu de E tombant sur le miroir concave AB est réfléchi vers E.

Venons-en à présent au chapitre 32, avant de nous arrêter au chapitre 30. Supposons, avec les notations précédentes, que l'œil E est au delà du centre O.

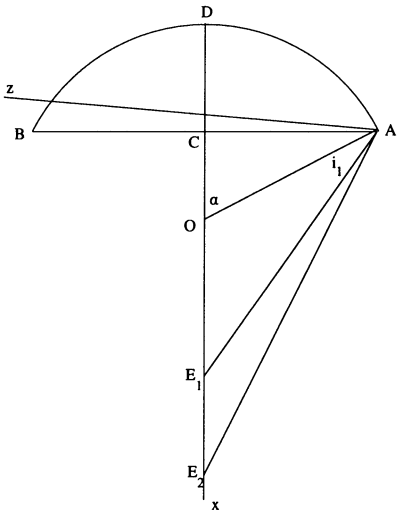


Fig. 12

Dans ce chapitre, nous devons supposer $\alpha < \frac{\pi}{4}$. En effet, quand E décrit la demi-droite Ox, l'angle $EAO = i$ croît de 0 à α ; si donc $\alpha > \frac{\pi}{4}$, i peut prendre la valeur $i_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha$, car $\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) < \alpha$. À cette valeur correspond le point E_1 tel que E_1A se réfléchit suivant AB ; et à toute valeur i_2 telle que $\frac{\pi}{2} - \alpha < i_2 < \alpha$ correspond un point E_2 tel que E_2A se réfléchit suivant Az et ne répond pas au problème.

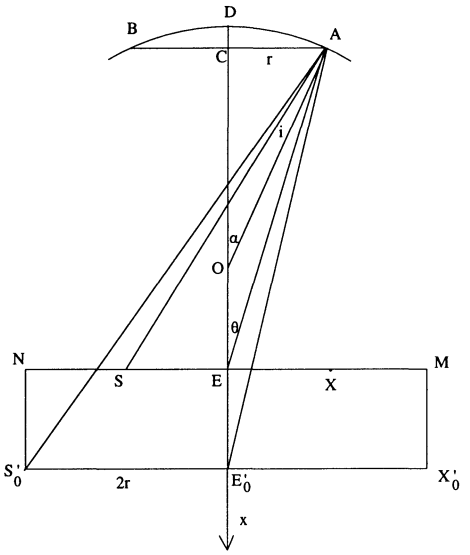


Fig. 13

On a alors $\alpha = \theta + i$; quand E décrit la demi-droite Ox, θ décroît de α à 0 et i croît de 0 à α. Dans le triangle EAS (voir Fig. 13) on a

$$\frac{EA}{\sin S} = \frac{ES}{\sin 2i}, \qquad EA = \frac{r}{\sin\theta}$$

avec

$$S = \frac{\pi}{2} - (\theta + 2i).$$

On a donc

$$ES = \frac{r\sin ri}{\sin\theta\cos(\theta+2i)} = \frac{2r\sin ri}{\sin 2(\theta+i) - \sin 2i} = \frac{2r\sin 2i}{\sin 2\alpha - \sin 2i} = -2r + \frac{2r\sin 2\alpha}{\sin 2a - \sin 2i}.$$

Par conséquent, quand E est au point O, on a $i = 0$ et $ES = 0$, et quand E décrit la demi-droite Ox, la longueur du segment ES croît indéfiniment. Il existe donc une position E'_0 de E pour laquelle $ES = 2r$, définie par $\sin 2\, i_0 = \sin 2\alpha - \sin 2i_0$, d'après la formule précédente, d'où $\sin 2\, i_0 = \frac{1}{2} \sin 2\, \alpha - \sin 2\, i_0$. Or 2α est une donnée ($\widehat{AOB} = 2\alpha$), donc i_0 qui définit le point E'_0 est connu ; $0 < i_0 < \alpha$. Quand donc E

décrit le segment OE'_0, on a $ES < 2r$; et quand E décrit la demi-droite E'_0x, on a $ES > 2r$.[10]

Récapitulons dans un tableau les résultats de l'étude de ES obtenus dans les chapitres 26 et 32 suivant la position de E sur l'axe Cx.

---

[10] On peut déterminer la position E'_0 de l'œil sur la demi-droite Ox pour que $S'_0X'_0 = 4r$. Posons $AB = 2r$, $OA = OB = R$, $OD = h$, et cherchons $OE'_0 = x_0$. Le rayon E'_0B est réfléchi suivant BX'_0 et le rayon S'_0C est réfléchi suivant CX'_0. L'intersection X de BE'_0 et de CS'_0 est l'image de X'_0 dans le miroir concave ; X est donc sur la droite OX'_0.

Dans le repère Ox, Oy, on a $E'_0(x_0, 0)$, $X_0(x_0, 2r)$, $S'_0(x_0, -2r)$, $C(-R, 0)$, $A(h, r)$, $B(-h, -r)$. On a pour équation de OX'_0 :

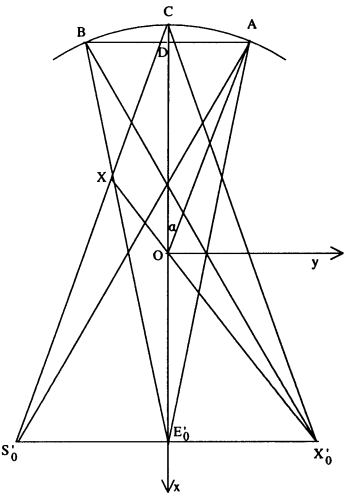
(1) $\dfrac{x}{x_0} = \dfrac{y}{2r}$;

pour équation de E'_0B

(2) $x = x_0 + \dfrac{y}{r}(x_0 + h)$;

et pour équation de CS'_0

(3) $x = -R - \dfrac{y}{2r}(x_0 + R)$.



De (1) et de (2) il vient

$$\frac{y}{r} = \frac{2x}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0 + h},$$

d'où

$$X\begin{cases} x = \dfrac{-x_0^2}{x_0 + 2h} \\ y = \dfrac{-2rx_0}{x_0 + 2h} \end{cases}$$

les coordonnées de X vérifiant l'équation (3). On a

$$\frac{-x_0^2}{x_0 + 2h} = -R + \frac{x_0(x_0 + R)}{x_0 + 2h},$$

d'où

$$x_0^2 = hR.$$

Or $h = R \cos \alpha$, d'où

$$x_0 = R^2 \cos \alpha.$$

E	ES	SX
C	$ES = r$	$SX = 2r$
	ES croît	SX croît de $2r$ à S_0X_0
E_0	$ES = E_0S_0 < 2r$	$SX = S_0X_0 < 4r$
	ES décroît	SX décroît de S_0X_0 à $2r$
Φ	$ES = r$	$SX = 2r$
	ES décroît	SX décroît de $2r$ à 0
O	$ES = 0$	$SX = 0$
	ES croît	SX croît de 0 à $4r$
E'_0	$E'_0S'_0 = 2r$	$SX = 4r$

Venons-en maintenant au chapitre 30. Ibn Lūqā montre que *quand l'œil* E *est au delà du centre* G, *le visage est vu inversé.*

Soit AB un miroir concave, G le centre de sa sphère, E la position de l'œil placé au delà de G. Prolongeons EG jusqu'à AB, qui la rencontre en F, le centre du miroir. On a donc par hypothèse $FE > FG$ (Fig. 6 du texte). Les deux rayons EA et EB se réfléchissent suivant AI et BH, et les deux rayons réfléchis se coupent en K sur l'axe FG, entre G et F, donc au devant de l'œil. Le plan P de la figure est supposé horizontal. Par rapport à l'axe EF le point H est alors à droite, et il est vu à gauche dans la direction de B. Le point I est à droite, et il est vu à gauche dans la direction de A.

Si on fait tourner le plan P de la figure autour de FE pour l'amener dans la position verticale P' avec A en haut, le point H sera alors en haut et sera vu en bas ; et le point I sera en bas mais sera vu en haut.

Ibn Lūqā ne considère pas dans ce chapitre 30 le cas où l'œil est entre le centre G et le miroir, c'est-à-dire le cas où $FE < FG$, hypothèse du chapitre 26. Si par exemple l'œil est au point K, le point L qui est à droite sera vu à droite, et le point M qui est à gauche sera vu à gauche. De même dans P', si L est en haut, il sera vu en haut ; et si M est en bas, il sera vu en bas. Dans ce cas, le visage est vu droit.

Ibn Lūqā se réfère à ces résultats dans le chapitre 32, puis dans le chapitre 33, où il résume ses recherches sur le miroir concave. C'est ce que nous allons faire à notre tour, mais d'une autre manière.

Nous avons examiné le groupe des "chapitres", ou plutôt des propositions consacrées par Ibn Lūqā au miroir concave, à savoir les "chapitres" 24, 26, 28, 30, 32. Tout le problème d'Ibn Lūqā dans ce groupe, comme dans celui qu'il consacre au miroir convexe, est de connaître comment on voit son visage en fonction de la position de l'œil par rapport au miroir.

Si donc on considère le miroir plan de diamètre $AB = 2\,AC = 2r$ (Fig. 10 et 13), quelle que soit la position E de l'œil sur l'axe du miroir, c'est-à-dire quel que soit l'angle $AEB = 2\,\theta$, on a toujours $EM = EN = 2r$.

Le résultat obtenu par Ibn Lūqā au chapitre 24 est donc exact si E est sur le segment $E_0E'_0$, quand $\alpha < \pi/4$, ou sur le segment CE'_0, quand $\alpha \geq \pi/4$, mais il ne l'est plus si E est sur la demi-droite E'_0x. Si en effet nous supposons qu'au miroir concave ADB (Fig. 13) on associe le miroir plan AB, et que le segment MN représente la largeur réelle du visage, alors pour E sur CE'_0, on a $0 \leq SX < MN$, SX représentant une partie du visage. Ainsi, pour voir le visage tout entier dans le miroir concave, il faut considérer une ouverture plus grande que $2\alpha = 2\,\widehat{AOD}$, et si on désigne par $2\theta'$ l'angle sous lequel l'œil E voit dans le miroir concave le miroir tout entier – c'est-à-dire le segment MN – on aura $2\theta' > 2\theta$. Le visage paraîtra *plus grand* que sa grandeur réelle. Si E est dans la position E'_0, $SX = MN$, on a alors $2\theta = 2\theta'$, le visage est vu comme dans le miroir plan. Si E est sur la demi-droite E'_0x, $SX > MN$, le segment représentant le visage n'est qu'une partie de SX, le visage sera vu sous un angle $2\theta' < 2\theta$, et paraîtra plus petit que sa grandeur réelle. Quand E s'éloigne indéfiniment, 2θ tend vers zéro, donc $2\theta'$ tend vers zéro, et le visage paraît de plus en plus petit, jusqu'à ce qu'il cesse d'être vu.

Une autre difficulté, sans doute rencontrée par Ibn Lūqā lors de son étude du miroir concave, est celle de l'étude du faisceau réfléchi examiné au chapitre 27 pour le miroir convexe. Alors que, dans ce dernier cas, la même figure convenait pour toute position de l'œil, il en va tout autrement pour le miroir concave, pour lequel il faut distinguer plusieurs cas. Ainsi, au faisceau incident AEB issu de l'œil correspond un faisceau réfléchi de sommet I, I étant l'image de E dans le miroir concave ADB. Cette image peut être réelle ou virtuelle suivant la position de l'œil E.

Posons $\widehat{AIB} = 2\omega$; supposons comme précédemment $\alpha < \frac{\pi}{4}$, et notons toujours C le milieu du segment AB, Φ l'intersection de OD et de la médiatrice de OA. Les cas suivants se présentent :

1) E *est entre* C *et* Φ (Fig. 14).

Le point I, image virtuelle de E, est au delà de D, sur Dx'. On a

$$2i = \omega + \theta, \quad i = \theta - \alpha,$$

d'où

$$\omega = \theta - 2\alpha.$$

Quand E décrit $C\Phi$, θ décroît de $\frac{\pi}{2}$ à 2α, donc ω décroît de $\frac{\pi}{2} - 2\alpha$ à zéro. I s'éloigne à l'infini sur Dx', les rayons AS et BX divergent. De plus si $AB = 2r$, on a $SX > 2r$.

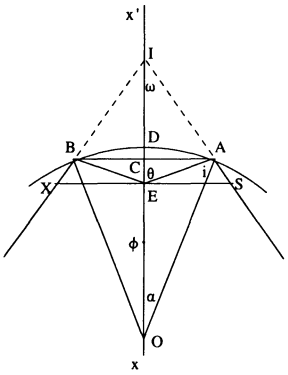


Fig. 14

2) E *est au point* Φ (Fig. 15).

Dans ce cas, $i \approx \alpha$, les rayons réfléchis AS et BX sont parallèles à l'axe, le faisceau réfléchi est un faisceau cylindrique ; on a donc $SX = 2r$.

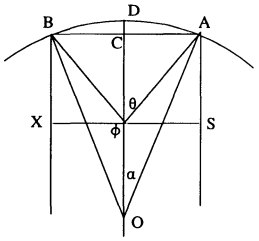


Fig. 15

3) E *est entre* Φ*et* O (Fig. 16).

Le point I est dans ce cas sur la demi-droite Ox. Les rayons réfléchis AS et BX convergent vers le point I au delà des points S et X. On a

$$\omega = \alpha - i \quad \text{et} \quad \theta = \alpha + i,$$

d'où

$$\omega = 2\alpha - \theta.$$

Quand E est en Φ, I est à l'infini sur Ox. Quand E décrit le segment ΦO, de Φ vers O, I se déplace sur Ox en direction de O jusqu'au point O.

Quand E est en O, l'angle EAI est nul. On a $SX < 2r$ et SX tend vers zéro.

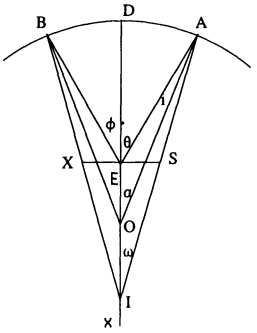


Fig. 16

4) E *est au-delà de* O (Fig. 17).

Dans ce cas, I est entre Φ et O. Les rayons réfléchis AI et BI divergent à partir de I vers S et X. On a

$$\omega = \alpha + i, \quad \alpha = \theta + i,$$

d'où

$$\omega = 2\alpha - \theta.$$

Quand E décrit la demi-droite Ox, θ décroît de 2α à zéro, donc ω croît de α à 2α. Le point I décrit le segment $O\Phi$ de O vers Φ, et SX croît de zéro à l'infini.

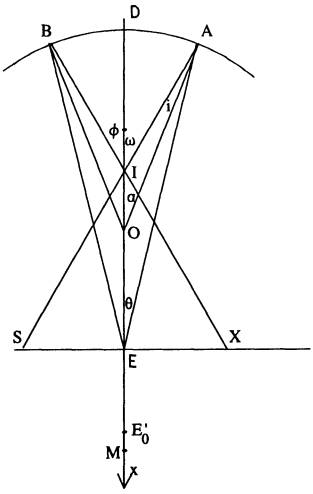


Fig. 17

Pour conclure ce commentaire de l'étude par Ibn Lūqā du miroir concave, rappelons d'abord ce que nous avons souligné auparavant : Ibn Lūqā n'a pas reconnu le rôle des points E_0 et Φ au chapitre 26, et il ne considère pas les positions de l'œil entre C et Φ au chapitre 27. Nous avons observé qu'il se place d'abord dans ce que nous appelons le cas 3, avant de considérer le cas 4. Dans le cas 3, il examine la situation quand l'œil s'approche du centre, et montre que l'angle θ décroît et que l'angle ω croît ; et $\widehat{EAI}$ décroît et tend vers zéro. Dans le cas 4, l'œil s'éloigne du centre, θ décroît toujours et ω croît. La longueur du segment SX, qui était nulle quand l'œil était au point O, croît, devient plus grande que celle du visage, puis continue à croître indéfiniment. Plus loin, au chapitre 32, Ibn Lūqā précise cette idée, sans toutefois définir la position E'_0 pour laquelle la longueur de SX est égale à celle du visage. Pour récapituler les idées d'Ibn Lūqā dans le chapitre 32 de son livre : si nous notons l la largeur du visage, alors le rapport l / SX décroît et tend vers zéro quand l'œil E s'éloigne indéfiniment.

Nous voyons que, même s'il n'a jamais défini E'_0, Ibn Lūqā semble néanmoins en saisir intuitivement l'importance. Au chapitre 33 en effet, il évoque l'extrémité M du diamètre du miroir, et suppose donc que $OM = R$. Or cette hypothèse n'intervient pas dans la suite de son exposé. Il reste que le calcul de la distance OE'_0 donne $OE'_0 = R\sqrt{\cos\alpha} < R$; si donc α est petit, E'_0 est voisin de M. Peut-être Ibn Lūqā avait-il perçu que c'est au voisinage de ce point M que le segment SX correspond à la longueur du visage[11].

Tout au long de ce livre de recherche, Ibn Lūqā procède tour à tour par descriptions qualitatives, intuitions fortes, preuves géométriques, pour traiter ce thème qui domine de part en part : déterminer la forme du visage vue dans les miroirs plan, sphérique convexe et sphérique concave. Rien d'étonnant dans ces conditions s'il arrive que certaines de ses explications de l'altération de l'image du visage restent insaisissables.

De quelles sources Ibn Lūqā disposait-il pour entreprendre une telle recherche et pour rédiger son livre ? Importante pour comprendre l'histoire de la contribution d'Ibn Lūqā, cette question l'est aussi pour la connaissance optique et catoptrique d'al-Kindī. Malheureusement Ibn Lūqā ne cite aucun auteur, qu'il soit grec ou arabe, et la connaissance de ses sources appartient à la recherche historique future. On pourrait néanmoins confirmer sa connaissance de l'*Optique* d'Euclide, puisqu'il emprunte certaines de ses hypothèses au prologue de ce livre. On pourrait de même identifier quelques échos de la *Catoptrique* attribuée à ce dernier : il ne s'agit nullement de citations qu'il aurait recopiées, mais

[11] Au cours de l'exposé, nous avons supposé que l'angle $DOA = \alpha < \pi/4$ afin de traiter les discussions dans les chapitres 26 et 32, avec la même hypothèse, et de les résumer comme le fait Ibn Lūqā dans son chapitre 33. Notons que cette condition est nécessaire dans le chapitre 22, mais ne l'est pas dans le chapitre 26. En effet, dans celui-ci $\alpha \geq \pi/4$, les points S et X existent pour toute position de l'œil sur OC.

bien de rapprochements dont l'attestation définitive exigerait des connaissances supplémentaires. Ainsi, au chapitre 10, Ibn Lūqā semble utiliser la première proposition de la *Catoptrique*. On peut aussi trouver dans le chapitre 22 relatif au miroir plan quelques traces des propositions 7, 16 et 19 de ce même livre. Il en est de même pour le chapitre 23 sur le miroir convexe et la proposition 21 de la *Catoptrique*, ainsi que pour le chapitre 28 sur le miroir concave et la proposition 5 du livre attribué à Euclide. Ces rapprochements, s'ils n'autorisent pas à établir qu'Ibn Lūqā avait entre les mains une version de la *Catoptrique*, rendent tout au moins bien plausible son accès à une source, pour l'heure inconnue, qui reprendrait certaines propositions du livre.

3. *Texte et traduction*

Composé à l'intention du frère du calife al-Mu'tamid [870-892], le véritable maître du pouvoir Abū Aḥmad al-Muwaffaq [229/843 - 278/891] et rédigé à Bagdad (l'auteur évoque le Tigre), le livre d'Ibn Lūqā est écrit dans la langue de l'optique du IIIe siècle de l'hégire (le IXe siècle). Proche pour l'essentiel de la langue d'al-Kindī, le lexique optique d'Ibn Lūqā ne lui est cependant pas identique. On y distingue en effet deux domaines. Le premier – le plus important – recouvre le lexique d'al-Kindī ; tandis que dans le second on reconnaît le vocabulaire des médecins galéniques arabes. Comme al-Kindī, Ibn Lūqā a recours à des expressions telles que *yanbaththh*, *al-nāẓir*, *mustaḥadd*, *al-shu'ā' al-baṣarī*, *'ilm al-shu'ā'āt*, etc. (émerge en se dispersant, la pupille, sommet, rayon visuel, science des rayons, etc.), dont certaines ne tarderont pas à disparaître de la langue optique. Il reste qu'Ibn Lūqā a, bien plus qu'al-Kindī, recours au terme *al-shu'ā' al-baṣarī* (rayon visuel) ; et qu'il lui arrive d'utiliser le terme *yan'aṭif* (se briser) – plus tard consacré à la seule réfraction – pour parler de la réflexion. Enfin, son vocabulaire est émaillé d'expressions galéniques comme *al-rūḥ al-nafsaniyya* (l'esprit psychique), que l'on retrouve dans les écrits de Ḥunayn ibn Isḥāq par exemple.

Nous savons d'autre part, par les anciens biobibliographes al-Nadīm et al-Qifṭī, et par la correspondance d'Ibn Lūqā lui-même[12], que celui-ci portait un intérêt tout particulier aux miroirs ardents. Ainsi, le personnage cité, le lieu évoqué, le lexique, de même que l'intérêt qu'Ibn Lūqā portait aux questions catoptriques, tout concourt à renforcer

[12] Al-Nadīm, *Kitāb al-fihrist*, éd. R. Tajaddud (Téhéran, 1971), p. 353 ; al-Qifṭī, *Ta'rīkh al-ḥukamā'*, éd. J. Lippert (Leipzig, 1903), p. 263 ; voir également "Une correspondance islamo-chrétienne entre Ibn al-Munaǧǧim, Ḥunayn ibn Isḥāq et Qusṭā ibn Lūqā", Introduction, édition, divisions, notes et index par Khalil Samir ; Introduction, traduction et notes par Paul Nwyia dans F. Graffin, *Patrologia Orientalis*, t. 40, fasc. 4, n° 185 (Turnhout, 1981), p. 674.

l'authenticité d'une attribution explicite, et inscrite dans le titre même du livre ; authenticité que rien n'est d'ailleurs venu mettre en doute.

Ce livre d'Ibn Lūqā nous est parvenu en un seul manuscrit, d'une lecture parfois difficile. Il fait partie de la collection 5593 Fāḍil Khān de la bibliothèque Āstān Quds, de Meshhed, en Iran[13]. C'est une collection scientifique, qui comporte deux autres textes sur les miroirs ardents (Dioclès et Didyme), trois en astronomie, quatre en mathématiques – dont la *Mesure de la parabole* de Thābit ibn Qurra. Aucune intention ne semble avoir présidé à ce groupement de textes, si ce n'est un certain intérêt pour les miroirs ardents. D'autre part, aucune information susceptible d'éclairer l'histoire manuscrite du livre d'Ibn Lūqā ne ressort de la description de ces autres textes.

La collection est de 156 feuillets (16,5 × 8), copiée en 867 de l'hégire, c'est-à-dire 1462/3, en *nasta'liq*. Les figures géométriques n'ont pas été tracées, mais le copiste a prévu des espaces blancs pour les y placer. Il n'y a ni glose, ni ajout, ni aucun signe de révision de la copie sur son modèle. L'unique ajout, de la main du copiste, a été fait, de toute évidence, au cours de la transcription. Le grand nombre des fautes, et notamment la confusion entre les différentes lettres désignant les grandeurs géométriques, montre bien que le copiste était étranger au domaine. Au cours de l'établissement du texte, nous n'avons pu retenir que les variantes de la langue de l'optique, c'est-à-dire que nous n'avons pas noté la variation et les fautes dans la transcription des lettres ou des mots lorsqu'aucun doute n'était permis. Toutes tracées par nous, les figures suivent scrupuleusement les indications du texte.

La traduction française a été conduite selon la méthode que nous avons toujours suivie : littérale, sans cependant heurter le génie des deux langues. La seule traduction qui pourrait aller à contresens de ce programme est celle des expressions suivantes : *al-burhān al-khaṭṭī*, *al-mithāl al-khaṭṭī*, *al-shakl al-khaṭṭī*. Expressions archaïques, dont la traduction littérale aurait donné respectivement : "la démonstration linéaire (ou par les lignes)" ; "l'exemple linéaire" et "la figure linéaire", fidèle à la lettre du texte, mais traître à son esprit. Reprenons toutefois ces expressions. Le verbe arabe *khaṭṭa*, d'où le nom *khaṭṭ*, signifie "écrire à l'aide d'un instrument quelconque". Les lexicographes évoquent à ce propos le célèbre poète préislamique Imru' al-Qays, lorsqu'il dit :

كخطِّ الزَّبورِ في عسيب يمان

Il s'agit donc d'un trait d'écriture pour tracer les lettres. On comprend que les traducteurs aient choisi ce terme pour rendre le grec γραμμή, et qu'ils l'utilisent, tout comme les mathématiciens grecs, pour rendre aussi le trait d'une figure géométrique. Les précédentes expressions peuvent

[13] A.K. Ma'ānī, *Fihrist Kutub Khaṭṭī Kutubkhāna Āstān Quds Raḍayī* (1350/1931), vol. VIII.

donc être traduites en français par "la démonstration à l'aide des traits de figure géométrique", ou, plus brièvement, "la démonstration géométrique". De même pour "l'exemple à l'aide des lignes d'une figure géométrique" – exemple géométrique, et "la figure à l'aide des lignes de figure géométrique" – figure géométrique. C'est en tout cas cette traduction que nous avons adoptée.

Enfin, sur la vie de Qusṭā ibn Lūqā, traducteur et savant, nous avons eu l'occasion de parler avec quelques détails[14]. Il ressort de cette biographie, et de la confrontation de ses dates à celle d'al-Muwaffaq, que le livre de Qusṭā fut probablement rédigé au cours de la décennie soixante-dix du IXe siècle, au plus tôt. Ce livre serait par conséquent plus tardif que les écrits d'al-Kindī, mort en 866/867.

[14] Voir note 1.

TEXTE ET TRADUCTION

Livre sur les causes de la diversité des perspectives
qui se produit dans les miroirs,
composé par Qusṭā ibn Lūqā le Grec,
pour al-Nāṣir li-Dīn Allāh, Abū Aḥmad al-Muwaffaq bi-Allāh

Kitāb fī ʿilal mā yaʿriḍu fī al-marāyā min ikhtilāf al-manāẓir
allafahu li-al-Nāṣir li-Dīn Allāh, Abū Aḥmad al-Muwaffaq bi-Allāh
Qusṭā ibn Lūqā al-Yūnānī

Au Nom de Dieu Clément et Miséricordieux

LIVRE SUR LES CAUSES DE LA DIVERSITÉ DES PERSPECTIVES QUI SE PRODUIT DANS LES MIROIRS, COMPOSÉ PAR QUSṬĀ IBN LŪQĀ LE GREC, POUR AL-NĀṢIR LI-DĪN ALLĀH[1], ABŪ AḤMAD AL-MUWAFFAQ BI-ALLĀH

Qusṭā a dit : de tout homme vertueux – que Dieu chérisse le Prince – l'amour est un devoir. Le plus vertueux des hommes, c'est celui qui est élu de Dieu, et l'élu de Dieu, c'est celui que Dieu distingue par les meilleures des choses humaines : la raison, la religion et les bonnes mœurs. Or Dieu a distingué le Seigneur par une raison parfaite qui l'a fait préférer la justesse des idées à l'erreur de la passion ; par une religion insigne qui l'a incliné vers la fatigue et la peine d'une entière piété, plutôt que vers la bassesse et le repos ; et par de bonnes mœurs, pour bien vivre avec son entourage et ses compagnons, les combler de ses soins et s'enquérir de leur état. Le Prince a réuni à cela l'intelligence et l'esprit, joints à l'art de gouverner et d'administrer, ainsi qu'amour et générosité. Il s'est employé à réformer l'État, alors corrompu, et à rassembler les avis, alors dispersés. C'est pour ces traits que le vertueux Prince est le meilleur des hommes, et de lui l'amour est un devoir pour tous les hommes. Mais celui que les âmes aiment, elles le convient pour l'associer aux meilleures des choses ; or les meilleures des choses humaines sont les sciences démonstratives qui éclairent la nature des choses, et, des sciences démonstratives, la meilleure est celle à laquelle participent la science physique et la science géométrique, car de la science physique elle emprunte la perception sensorielle, et de la science géométrique les démonstrations géométriques[2]. Je n'ai rien trouvé où se réunissent ces deux arts de plus beau ni de plus parfait que la science des rayons, surtout ceux qui sont réfléchis sur les miroirs. J'ai retenu pour le vertueux Prince un miroir à deux faces : sur l'une, il y a les formes des visibles, à leur grandeur réelle, sans augmentation ni diminution ; et sur l'autre il y a les formes des visibles, augmentées ou diminuées. Et de fait,

[1] Titre que l'on peut rendre par : "qui fait triompher la religion de Dieu".
[2] Litt. : par les lignes. Voir commentaire p. 542 et 568.

كتاب في علل ما يعرض في المرايا من اختلاف المناظر
ألفه للناصر لدين اللّه أبي أحمد الموفق باللّه
قسطا بن لوقا اليوناني

قال قسطا: كل فاضل، أعز اللّه الأمير، فمحبته واجبة، وأفضل الناس من كان عند اللّه مفضلاً، والمفضل عند اللّه من فضله اللّه بأفضل الأشياء الإنسانية، العقل والدين والأخلاق الجميلة. وقد فضل اللّه السيد بعقل كامل آثر به صواب الرأي عن خطأ الهوى، وبدين فاضل قدم به التعب والنَّصْبَ من الصلاح الشامل على الحضيض والراحة، وبأخلاق جميلة على حسن معاشرة الحول والأصحاب والعناية بهم وتفقد أحوالهم، وجمع لهم إلى ذلك ذكاءً وذهنًا وسياسة وتدبيراً وحبًا وكرامة، وانتحى لإصلاح الدولة بعد فسادها، وجمع الكلمة بعد تشتتها. فالأمير الفاضل بهذه المعاني أفضل البشر، ومحبته واجبة على الناس جميعًا؛ ومن حبته النفوس نادت إلى إلحاقه بأحسن الأشياء. وأحسن الأشياء الإنسانية العلوم البرهانية التي تبين عن طبائع الأشياء وعللها؛ وأحسن العلوم البرهانية ما اشترك فيه العلم الطبيعي والعلم الهندسي، لأنه يأخذ من العلم الطبيعي الإدراك الحسي ويأخذ من العلم الهندسي البراهين الخطوطية. ولم أجد شيئًا تجتمع فيه هاتان الصناعتان أكثرَ حسنًا وكمالاً من علم الشعاعات، لا سيما ما كان منها منعكسًا عن المرايا. فاتخذت للأمير الفاضل مرآة ذات وجهين: أحدهما فيه صور المبصرات في مقاديرها الحقيقية لا زائدة ولا ناقصة عنها، <والآخر فيه صور المبصرات زائدة أو ناقصة عنها>؛

8 آثر به: آثريه – 12 تشتتها: نسبتها – 14 العلوم: المعلوم.

parmi les miroirs, il y a ceux dans lesquels on voit les formes des visibles plus petites que leurs grandeurs – ceux qui ont une convexité sur leur face ; et ceux dans lesquels on voit les formes des visibles plus grandes que leurs grandeurs – ceux qui ont une concavité sur leur face.

Quant aux miroirs dont les faces sont dépourvues de hauteur et de concavité, ils font voir le visage selon sa grandeur réelle, sans la dépasser ni lui être inférieure ; ainsi est l'une des faces de ce miroir. Sur l'autre côté, les formes du visible sont vues différentes selon qu'elles en sont
78v éloignées ou rapprochées. Ainsi, si on rapproche, / très près, ce côté du visage, pour que sa distance à lui soit de quatre doigts, le visage y sera vu très grand, dans sa forme régulière, et d'une visibilité correcte et distincte. Si on éloigne davantage le miroir du visage, pour que sa distance à lui soit de huit doigts, le visage sera vu d'une grandeur croissante, d'une forme régulière. Si on éloigne le miroir du visage plus que cette distance, pour que sa distance à lui soit de seize doigts, on lui verra trois yeux, dont deux dans leur position et le troisième entre eux. Si on l'éloigne du visage un peu plus que cela, pour que sa distance à lui soit de vingt-quatre doigts, on voit sur le visage quatre yeux et deux nez, et on l'y voit dans une forme très grande. Si on l'éloigne du visage d'une distance plus grande, pour que sa distance à lui soit de trente-six doigts, on ne voit rien, et on voit sa couleur différente, penchant tantôt vers la couleur grise, tantôt vers la couleur violette. Si on l'éloigne du visage d'une distance plus grande, pour que sa distance à lui soit de quarante-huit doigts, il fait voir le visage inversé et en fait voir deux nez et trois yeux. Si on l'éloigne du visage plus que cette distance, il le fait voir inversé, avec deux yeux, et si la distance continue à croître, il le montre inversé, avec deux yeux, de plus en plus petit, jusqu'à ce qu'on ne le voit plus du tout.

Mais, puisque toute notion scientifique devient vraie pour l'âme si on connaît sa cause et si on établit les démonstrations à son propos, il faut pour ces notions élucider leurs causes et établir les démonstrations à leur propos. Or ceci ne peut se faire qu'en introduisant une propédeutique, issue de la science de la diversité des perspectives. C'est ce que j'ai fait pour le Prince, et je l'ai fait précéder de tout ce qui est requis ; j'ai rendu universel ce que j'ai écrit, ce par quoi on montre les causes de la diversité des formes des visibles qui se trouvent dans les miroirs. Puis je l'ai fait suivre de propos particuliers à ce miroir, et je l'ai composé en chapitres.

وذلك أن من المرايا ما ترى فيه صور المبصرات في أصغر من مقاديرها وهي التي في وجوهها نتوء، ومنها ما ترى فيها صور المبصرات في أعظم من مقاديرها وهي التي في وجوهها تقعير.

فأما المرايا التي وجوهها سليمة من الارتفاع والانخفاض، فإنها تُري الوجه في مقداره الحقيقي لا زائداً عليه ولا ناقصاً عنه، وهكذا أحد وجهي هذه المرآة، وأما الجانب الآخر فإن صور المبصرات ترى فيه مختلفة على قدر بعدها وقربها منه. فإذا قُرّب / هذا الجانب من الوجه تقريبًا شديداً ٧٨-ظ حتى يكون بعده عنه مقدار أربع أصابع رئي الوجه فيه عظيمًا جداً في خلقته المستوية رؤية صحيحة بينة. فإن بوعدت المرآة عن الوجه أكثر من ذلك حتى يكون بعدها عنه ثماني أصابع رئي الوجه فيها متزيد العظم مستوي الصورة. فإن بوعدت المرآة عن الوجه أكثر من هذا البعد حتى يكون بعدها عنه ست عشرة إصبعًا رئي له ثلاث أعين، اثنتان في موضعيهما وعين ثالثة بينهما. فإن بوعدت عن الوجه أكثر من ذلك قليلاً حتى يصير بعدها عنه أربعًا وعشرين إصبعًا رئي للوجه أربع أعين وأنفان ورئي فيها صورته عظيمة جداً. فإن بوعدت عن الوجه بعداً أكثر حتى يكون بعدها عنه ستًا وثلاثين إصبعًا لم تر شيئًا ورئي لونها مختلفًا مائلاً تارة إلى اللون الرصاصي وتارة إلى اللون البنفسجي. فإن بوعدت عن الوجه بعداً أكثر حتى يصير بعدها عنه ثمانيًا وأربعين إصبعًا أرت الوجه مقلوبًا وأرت ‹له› أنفين وثلاث أعين. فإن بوعدت عن الوجه أكثر من هذا البعد أرته مقلوبًا ذا عينين، ولا يزال بعدها ذا البعد تريه مقلوبًا ذا عينين متزيداً في الصغر حتى لا يرى البتة.

ولما كان كل معنى علمي إنما يصحّ في النفس إذا علمت علته وأقيم البراهين عليه، احتيج في هذه المعاني إلى إبانة عللها وإقامة البراهين عليها، وذلك لا يتهيأ إلا بتوطئة تقدم له من علم اختلاف المناظر. فعملت ذلك للأمير وقدمت له كل ما يحتاج إلى تقديمه، وجعلت ما كتبته فيه كليًا يُبين به علل كل ما يوجد في المرايا من اختلاف صور المبصرات فيها، ثم اتبعته بكلام خاصّ يخصّ هذه المرآة، وصنفته أبوابًا ورسمت

1 مقاديرها: مقدارها – 3 وجوهها: وجهها – 6 فيه: فيها – 10 رئي: راى، ولن نشير إليها فيما بعد – 11 هذا: كتب بعدها «الوجه»، ثم ضرب عليها بالقلم – 15 بعداً: بعد – 18 بعداً: بعد – 19 أنفين: اربعين – 22 معنى: كتب الناسخ «واحد»، ثم ضرب عليها بالقلم، ثم كتب «حود»، التي يمكن أن تقرأ «وجود»، ولكن لن يستقيم المعنى بها، فمن الواضح أن هنا سهو وخطأ من الناسخ – 24 فعملت: فعلمت.

J'ai marqué les chapitres du début du livre par des chiffres qui les désignent, pour faciliter le repérage de la notion qu'on y cherche, et pour l'atteindre aisément. C'est de Dieu que j'implore l'assistance pour ce qui agrée au vertueux Prince, et que j'implore la bonne voie pour honorer sa volonté et ses vues, et la récompense de ce qui est mon intention de le servir. C'est Lui qui nous suffit, c'est à Lui que je me remets, c'est de Lui que j'ai l'assistance.

Les chapitres du livre, qui sont trente-trois

Premier chapitre : Par quoi la vision se fait-elle ? /

79r *Second chapitre* : Combien sont les sortes de rayons, et par lesquelles la vision a-t-elle lieu ?

Troisième chapitre : Quelles sont la figure du rayon et sa forme ?

Quatrième chapitre : Par quelle cause une même chose est-elle vue d'une grandeur inégale lors de son rapprochement et de son éloignement de l'œil ?

Cinquième chapitre : Par quelle cause, si on éloigne toujours le visible de l'œil, disparaît-il à la vue et ne sera-t-il plus vu ?[3]

Sixième chapitre : Par quelle cause une même chose est-elle vue deux ou plus, et de combien de manières cela est-il possible ?

Septième chapitre : Qu'est-ce qu'un corps poli ? Combien y a-t-il d'espèces de corps polis dans lesquels l'homme voit sa forme et les formes des choses qui leur font face ?

Huitième chapitre : De quelle manière voit-on le visage dans le miroir et dans tous les corps polis ?

Neuvième chapitre : De quelle manière voit-on tous les visibles dans les miroirs et dans les autres corps polis ?

Dixième chapitre : Que signifie la réflexion du rayon sur les corps polis, et comment le rayon se réfléchit-il suivant des angles égaux ?

Onzième chapitre : Combien sont les sortes de miroirs et de combien de manières diffèrent-ils ? Lequel d'entre eux est-il limité par une convexité et lequel ne l'est pas ?

Douzième chapitre : Par quoi caractérise-t-on un miroir convexe à convexité sphérique ?

Treizième chapitre : Par quoi caractérise-t-on un miroir à surface plane ?[4]

Quatorzième chapitre : Par quoi caractérise-t-on un miroir concave à concavité sphérique ?

---

[3] Dans le corps du livre, l'auteur traite les chapitres 4 et 5 dans un même chapitre.

[4] Dans le corps du texte, l'auteur a permuté les chapitres 12 et 13.

الأبواب في أوّل الكتاب بأعداد تبينها عليها ليسهل وجدان المعنى الذي يقصد منها ويقرب مأخذه، والله أسأل توفيقًا لما يرضاه الأمير الفاضل وتسديداً لبلوغ طاعته وما يراه والمثوبة على ما في نيتي وضميري من خدمته وهو حسبي وعليه توكلي وبه أستعين.

أبواب الكتاب وهي ثلاثة وثلاثون بابًا

الباب الأوّل: بماذا يكون البصر؟ /

الباب الثاني: كم أصناف الشعاعات وبأيها يكون البصر؟ ٧٩-و

الباب الثالث: ما شكل الشعاع وصورته؟

الباب الرابع: لأية علة يرى الشيء الواحد مختلف العظم في قربه وبعده عن البصر؟ فيرى من القرب عظيمًا ومن البعد صغيراً.

الباب الخامس: لأية علة إذا بوعد المبصر عن البصر بعداً دائمًا خفي عن البصر فلم يُبصر؟

الباب السادس: لأية علة يرى الشيء الواحد شيئين وأكثر، وعلى كم جهة يكون ذلك؟

الباب السابع: ما الجرم الصقيل؟ وكم أنواع الأجرام الصقيلة التي يرى الإنسان فيها صورته وصور الأشياء التي تقابلها؟

الباب الثامن: على أية جهة ترى صورة الوجه في المرآة وفي سائر الأجرام الصقيلة؟

الباب التاسع: على أي جهة ترى سائر المبصرات في المرايا وفي غيرها من الأجرام الصقيلة؟

الباب العاشر: ما معنى انعكاس الشعاع عن الأجرام الصقيلة، وكيف يكون انعكاس الشعاع على زوايا متساوية؟

الباب الحادي عشر: كم أصناف المرايا، وعلى كم جهة تختلف؟ وما منها محصور بحدبه وما منها غير محصور؟

الباب الثاني عشر: بماذا تحد المرآة المقببة تقبيبًا كريًا؟

الباب الثالث عشر: بماذا تحد المرآة المسطحة تسطيحًا مستويًا؟

الباب الرابع عشر: بماذا تحد المرآة المقعرة تقعيراً كريًا؟

1 بأعداد: باعدادا – 3 وما يراه: وما يرلف؛ ولم نهتد إلى التحقق منها – 7 يكون البصر: كتبها تحت السطر – 9 وبعده: وبعد – 13 وأكثر: او اكثر – 16 وصور: وصورة.

Quinzième chapitre : Par quoi vérifions-nous le miroir à face plane pour savoir que sa face est parfaitement plane ?

Seizième chapitre : Par quoi vérifions-nous le miroir convexe pour savoir que sa convexité est sphérique ?

Dix-septième chapitre : Par quoi vérifions-nous le miroir concave pour savoir que sa concavité est exacte ?

Dix-huitième chapitre : Quelle est la différence entre le fait de voir le visage dans le miroir déformé, et le fait de le voir d'une forme différente ?

Dix-neuvième chapitre : Dans quels miroirs voit-on le visage déformé, et quelle en est la cause ?

Vingtième chapitre : Dans quels miroirs voit-on le visage d'une forme différente sans qu'il soit déformé, et quelle en est la cause ?

79v *Vingt et unième chapitre* : / Sous quelle forme voit-on le visage dans chacun des miroirs caractérisés, qui sont le miroir plan, le miroir convexe à convexité sphérique et le miroir concave à concavité sphérique ?

Vingt-deuxième chapitre : Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir à surface plane dans sa grandeur réelle sans qu'elle l'excède ni qu'elle lui soit inférieure ?

Vingt-troisième chapitre : Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir convexe inférieure à sa grandeur réelle ?

Vingt-quatrième chapitre : Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir concave d'une grandeur supérieure à sa grandeur réelle ?

Vingt-cinquième chapitre : Par quelle cause voit-on le visage dans le miroir convexe à convexité sphérique de plus en plus petit ? et à mesure que croît la distance du miroir au visage pourquoi <sa grandeur> continue-t-elle à diminuer jusqu'à ce qu'il ne soit plus vu du tout ?

Vingt-sixième chapitre : Par quelle cause voit-on le visage dans le miroir concave à concavité sphérique de plus en plus grand ? et à mesure que le miroir s'éloigne du visage, pourquoi sa grandeur croît-elle jusqu'à une distance déterminée, et quelle est cette distance ?

Vingt-septième chapitre : Par quelle cause ne voit-on pas le visage dans le miroir convexe une fois que l'on a cessé de le voir en raison de sa petitesse, alors qu'on le voit dans le miroir concave à concavité sphérique une fois qu'on a cessé de le voir en raison de sa grandeur ?

الباب الخامس عشر: بماذا نمتحن المرآة المستوية الوجه حتى نعلم أن وجهها صحيح الاستواء؟

الباب السادس عشر: بماذا نمتحن المرآة المقببة حتى نعلم أن تقبيبها كري؟

الباب السابع عشر: بماذا نمتحن المرآة المقعرة حتى نعلم أن تقعيرها صحيح؟

الباب الثامن عشر: ما الفرق بين أن يرى الوجه في المرآة مشوهًا وبين أن يرى مختلف الصورة؟

الباب التاسع عشر: أي المرايا يرى الوجه فيها مشوهًا، وما علة ذلك؟

الباب العشرون: أي المرايا يرى الوجه فيها مختلف الصورة غير مشوه، وما علة ذلك؟

الباب الحادي / والعشرون: في أي صورة يرى الوجه في كل واحدة ٧٩-ظ من المرايا المحدودة التي هي المسطحة والمقببة تقبيبًا كريًا والمقعرة تقعيراً كريًا؟

الباب الثاني والعشرون: لأية علة ترى صورة الوجه في المرآة المستوية السطح في مقدارها الحقيقي لا زائدة عليه ولا ناقصة عنه؟

الباب الثالث والعشرون: لأية علة ترى صورة الوجه في المرآة المقببة في أصغر من مقدارها الحقيقي؟

الباب الرابع والعشرون: لأية علة ترى صورة الوجه في المرآة المقعرة في أعظم من مقدارها الحقيقي؟

الباب الخامس والعشرون: لأية علة يرى الوجه في المرآة المقببة تقبيبًا كريًا متزيدة الصغر؟ <و>كلما زاد بعد المرآة عن الوجه لا يزال الصغر يتزيد إلى أن لا يرى البتّة؟

الباب السادس والعشرون: لأية علة يرى الوجه في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا متزيد العظم؟ وكلما بعدت المرآة عن الوجه يتزيد عظمه إلى بعد ما محدود؟ وكم ذلك البعد؟

الباب السابع والعشرون: لأية علة لا يرى الوجه في المرآة المقببة بعد انقطاع رؤيته فيها لصغره، ويرى في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا بعد انقطاع رؤيته فيها لعظمه؟

1 حتى: التي – 7 مشهوهًا: مسوبا – 9 مشهوهًا: مسوبا – 16 زائدة: زائدا / ناقصة: ناقصا – 22 عن: على – 29 لعظمه: العظمه.

Vingt-huitième chapitre : Par quelle cause ne voit-on pas le visage dans certains miroirs s'il est à l'une des distances déterminées, dans quels miroirs cela se produit-il et à quelle distance ?

Vingt-neuvième chapitre : Par quelle cause voit-on la couleur du miroir différente, penchant parfois vers la couleur grise et parfois vers la couleur bleu foncé ? Dans quel miroir cela se produit-il et à quelle distance ?

Trentième chapitre : Par quelle cause voit-on le visage inversé dans certains miroirs, dans quel miroir et à quelle distance ?

Trente et unième chapitre : Par quelle cause voit-on le visage dans certains miroirs non seulement inversé, mais à trois yeux et deux nez, dans quels miroirs et à quelle distance ?

Trente-deuxième chapitre : Par quelle cause, si on voit le visage dans le miroir inversé avec deux yeux, continue-t-il à diminuer à mesure que le miroir s'en éloigne jusqu'à ce qu'on ne le voit plus du tout ?

Trente-troisième chapitre : Par quelle cause toutes ces notions ont-elles été réunies à propos de ce miroir que j'ai considéré à l'intention de Monseigneur le Prince, et comment montrer à partir d'elles toutes les sortes de la diversité des perspectives que nous avons mentionnées à son propos ?

Premier chapitre : Par quoi se fait la vision ?

La vision se fait par un rayon qui se disperse à partir de l'œil et qui
80r tombe sur les visibles qui seront vus par les rayons / qui tombent sur eux. Ce sur quoi tombe le rayon visuel sera vu par l'homme, et ce sur quoi ne tombe pas le rayon visuel ne sera pas vu par l'homme. C'est pourquoi les choses entre lesquelles et l'œil il y a des obstacles qui entravent le rayon visuel et l'empêchent de tomber sur elles ne sont pas vues. Ce rayon visuel se disperse à partir de l'esprit psychique qui émerge du cerveau jusqu'à la pupille à travers les deux nerfs creux qui traversent du cerveau jusqu'aux deux yeux, et se disperse de l'œil dans l'air jusqu'aux visibles pour être comme l'organe de l'homme. Ce sur quoi ce rayon tombe sera saisi par le sens de la vision, c'est pourquoi celui qui a de l'eau dans les yeux ne voit pas, car de l'œil qui a de l'eau le rayon visuel ne se disperse pas ; l'eau sera en effet un obstacle qui empêche sa traversée à partir de l'œil. Si on ôte de la pupille cet obstacle, c'est-à-dire l'eau, par paracentèse, pour que le rayon visuel traverse à partir d'elle pour tomber sur le visible, alors cet homme devient voyant.

الباب الثامن والعشرون: لأية علة لا يرى الوجه في بعض المرايا إذا صار على بعد من الأبعاد محدود، <و>في أي مرآة يكون ذلك وعلى أي بعد يكون؟

الباب التاسع والعشرون: لأية علة يرى لون المرآة مختلفًا مائلاً تارة إلى اللون الرصاصي ومائلاً تارة إلى الكحلي، وفي أي مرآة يكون ذلك وعلى أي بعد يكون؟

الباب الثلاثون: لأية علة يرى الوجه في بعض المرايا مقلوبًا؟ <و>في أي مرآة وعلى أي بعد؟

الباب الحادي والثلاثون: لأية علة يرى الوجه في بعض المرايا مع انقلابه ذا ثلاث أعين وأنفين؟ وفي أي المرايا يرى ذلك وعلى أي بعد يرى؟

الباب الثاني والثلاثون: لأية علة إذا رئي الوجه في المرآة مقلوبًا ذا عينين لا يزال صغره يزداد كلما بعدت المرآة عن الوجه حتى لا يرى البتة؟

الباب الثالث والثلاثون: لأية علة اجتمعت هذه المعاني في المرآة التي اتخذتها لسيدي الأمير؟ وكيف نبين منها كل الأصناف التي ذكرنا من اختلاف المناظر؟

الباب الأوّل: بماذا يكون البصر؟

البصر يكون بشعاع ينبث من العين ويقع على المبصرات، فتبصر بالشعاع / الواقع عليها. فما وقع عليه الشعاع البصري يبصره الإنسان، ٨٠-و وما لم يقع عليه الشعاع البصري لم يبصره الإنسان؛ ولذلك لا تبصر الأشياء التي بينها وبين البصر حواجز تمنع وتعوق شعاع البصر أن يقع عليها. وهذا الشعاع البصري ينبث من الروح النفسانية التي تنبعث من الدماغ إلى الناظر في العصبتين المجوفتين اللتين تنفذان من الدماغ إلى العينين وينبث من العين في الهواء إلى المبصرات فيكون كالعضو للإنسان؛ فما وقع عليه ذلك الشعاع أدركته حاسة البصر. ولذلك لا يبصر من كان في عينه الماء، لأن العين التي بها ماء لا ينبث منها الشعاع البصري، لأن الماء، يصير حاجزاً يمنع من نفوذه من العين. فإن أزيل ذلك الحاجز عن الناظر - أعني الماء - بالقدح حتى ينفذ الشعاع البصري منه فيقع على المبصرات، صار ذلك الإنسان بصيراً.

5 اللون: الوجه / ومائلاً: وملاءما - 8 مرآة: كتب قبلها «صورة»، ثم ضرب عليها بالقلم - 26 يصير: يصيرا.

– 2 – Combien y a-t-il de sortes de rayons, et par lesquelles la vision a-t-elle lieu ?

Il y a trois sortes de rayons : rayon solaire, rayon du feu, et rayon visuel. Le rayon solaire est le rayon qui se disperse à partir du soleil, et par lequel il y aura la luminosité du jour. Le rayon du feu est le rayon qui se disperse à partir du feu et par lequel il illumine l'obscurité de la nuit. Le rayon visuel est le rayon qui se disperse à partir des yeux de animaux qui voient par lui tous les visibles sur lesquels tombent les rayon de leurs yeux.

Le rayon qui se disperse à partir de la lune et de tous les astres est du genre du rayon solaire. C'est pourquoi nous n'avons pas posé de quatrième espèce. Le rayon visuel ne perçoit les visibles que par l'un des autres genres de rayons, c'est-à-dire le rayon solaire ou le rayon du feu, car chacun d'eux imprègne dans l'air une luminosité sans laquelle il n'y a pas de vision et dans laquelle celle-ci a lieu.

– 3 – Quelles sont la figure du rayon visuel et sa forme ?

Le rayon visuel se disperse à partir de l'œil sous la forme de la figure d'un cône dont le sommet est du côté de l'œil voyant, et dont la base est du côté du visible sur lequel elle tombe. Ainsi, ce sur quoi tombe la base du cône radiant est perçu par l'œil, et ce sur quoi ne tombe pas le rayon visuel, le sens de la vue ne le perçoit pas. Ce cône visuel pénètre à partir de l'œil voyant, suivant des lignes droites, sans courbure ; et il a un angle limité par deux côtés du cône, et cet angle est du côté du visible.

– 4 et 5 – Par quelle cause une même chose est-elle vue d'une grandeur inégale lors de son rapprochement et de son éloignement de l'œil ? Elle sera donc vue grande lors du rapprochement et petite lors de l'éloignement.

80v Le même visible peut être vu dans une forme / différente en raison de la diversité des angles du rayon sous lesquels on la voit[5], car les angles du cône diffèrent en petitesse et en grandeur, si on voit le visible sous un grand angle, on le voit grand, et si on le voit sous un petit angle, on le voit pour cette raison petit[6].

Posons pour cela un exemple géométrique pour le montrer par une preuve sensible. Soit le visible la droite AB, l'œil qui regarde au point E et le cône du rayon qui se disperse à partir de l'œil, le cône AEB. Déplaçons le visible AB de la position[7] AB jusqu'à ce qu'il vienne sur FG, alors le rayon qui se disperse à partir de l'œil, qui est au <point> E,

[5] Litt. : les angles du rayon qui la voient.
[6] Voir l'*Optique* d'Euclide, déf. 4, propositions 3 et 5.
[7] Litt. : distance

<بَ> كم أصناف الشعاع وبأيها يكون البصر؟

أصناف الشعاع ثلاثة: شعاع شمسي، وشعاع ناري، وشعاع بصري. فأما الشعاع الشمسي، فهو الشعاع الذي ينبث من الشمس فيكون به الضياء النهاري. وأما الشعاع الناري، فهو الشعاع الذي ينبث عن النار فتضيء به ظلام الليل. وأما الشعاع البصري، فهو الشعاع الذي ينبث عن أبصار الحيوانات فتبصر به ما يقع عليه شعاعات أبصارها من سائر المبصرات.

وأما القمر وسائر الكواكب، فإن الشعاع الذي ينبث منها من جنس الشعاع الشمسي، ولذلك لم نجعل نوعاً رابعاً.

والشعاع البصري لا يدرك المبصرات إلا بأحد الجنسين الآخرين من الشعاعات، أعني الشعاع الشمسي أو الشعاع الناري، لأن كل واحد منهما يؤثر في الهواء ضياءً لا يكون البصر إلا به وفيه.

<جَ> ما شكل الشعاع البصري وصورته؟

الشعاع البصري ينبث عن العين في صورة شكل مخروط مستحدّه يلي العين الباصرة وقاعدته تلي المبصرات التي تقع عليها. فما وقعت عليه قاعدة المخروط الشعاعي أدركه البصر، وما لم يقع عليه الشعاع البصري لم تدركه حاسة البصر. وهذا المخروط البصري ينفذ من العين الباصرة على خطوط مستقيمة لا اعوجاج فيها، وله زاوية يحيط بها ضلعان من أضلاع المخروط. وتلك الزاوية تلي المبصرات.

<دَ، هَ> لأية علة [لان] يرى الشيء الواحد مختلف العظم في قربه وبعده عن البصر؟ فيرى من القرب عظيماً ومن البعد صغيراً.

المبصر الواحد يرى في صورة / مختلفة لاختلاف زوايا الشعاع التي ٨٠-ظ يراها، لأن زوايا المخروط تختلف في الصغر والكبر؛ فإذا رئي المبصر بزاوية عظيمة رئي عظيماً وإذا رئي بزاوية صغيرة لذلك يرى صغيراً.

ولنجعل لذلك مثالاً خطوطياً يتبين به بياناً حسياً. فليكن المبصر خط آ ب والعين الباصرة على نقطة هَ ومخروط الشعاع الذي ينبث من البصر مخروط آ هَ ب؛ وننقل مبصر آ ب من بعد آ ب حتى يصير على و ز، فيكون الشعاع الذي ينبث إليه من البصر الذي على هَ مخروط و هَ ز،

4 النار: النارى – 5 فهو: كتب بعدها «الذي»، ثم ضرب عليها بالقلم.

jusqu'à lui, est le cône *FEG*, donc le visible est vu suivant *FG* sous l'angle *FEG*. Mais l'angle *FEG* est plus petit que l'angle *AEB*, donc on voit *FG* plus petit que *AB*. Si on déplace le visible *FG* et qu'on le pose sur *HI*, il est vu sous l'angle *HEI* qui est plus petit que l'angle *FEG*. Si nous imaginons que le visible *HI* a été déplacé de *HI* et posé sur *KL*, il sera vu sous l'angle *LEK* qui est plus petit que l'angle *HEI*. On voit donc *KL* plus petit que *HI*. De même si on déplace celui qui est sur *KL* et qu'on le pose sur *CD*, alors il sera vu par le cône *CED*, il sera vu plus petit que *KL*. Et de même à mesure que le visible s'éloigne de l'œil, l'angle sous lequel il est vu sera de plus en plus resserré. Si le resserrement parvient jusqu'à ce que l'angle soit sous la forme d'une droite qui n'a pas de largeur[8], le visible qui est sur la base de cet angle ne sera pas vu en raison de son resserrement. Le visible continue toujours à diminuer en raison de la diminution de l'angle, jusqu'à ce que le visible devienne tellement petit en grandeur que le sens visuel ne le perçoive plus.

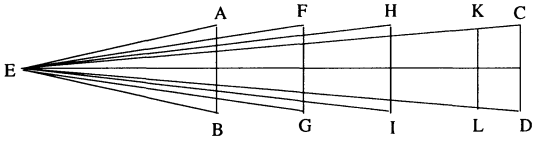


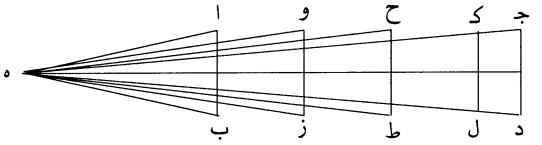
Fig. 1

– 6 – Par quelle cause une même chose est-elle vue deux ou plus ? et de combien de manières ceci est-il possible ?

Nous avons dit précédemment que le sens visuel perçoit les visibles si le rayon visuel tombe sur eux. Le visible sera vu unique si un seul rayon tombe sur lui ; si deux rayons visuels tombent sur lui, il sera vu double ; si plus de deux rayons tombent sur lui, il sera vu plus que deux. Les visibles sont vus autant de fois qu'il y a de rayons tombant sur eux. Les rayons tombant sur les visibles sont multiples selon des manières différentes ; l'une d'elles est relative à la dispersion du rayon des deux yeux : en effet de chaque œil émerge un cône visuel, les deux cônes émergeant des deux yeux se réunissent et composent donc un seul cône visuel par lequel on voit les visibles ; chacun des visibles sera vu unique. S'il advient que les deux cônes émergeant des deux yeux se séparent, pour que tombe sur le même visible un cône radiant de chacun des deux yeux, /
81r alors la même chose sera vue double ; le rayon émergeant des deux yeux

[8] C'est-à-dire que les deux côtés de l'angle se sont rapprochés de façon à ne former qu'une seule droite.

فيبصر المبصر الذي على و ز بزاوية و ه ز. وزاوية و ه ز أصغر من زاوية ا ه ب، فيرى و ز أصغر من ا ب. فإذا نقل مبصر و ز وجعل على ح ط، رئي بزاوية ح ه ط وهي أصغر من زاوية و ه ز. وإذا توهمنا أن مبصر ح ط قد نقل من ح ط وجعل على ك ل، رئي بزاوية ل ه ك وهي أصغر من زاوية ح ه ط. فيرى ك ل أصغر من ح ط. وكذلك إن نقل الذي على ك ل وجعل على جـ د، فإنه يرى بمخروط جـ ه د فرئي أصغر من ك ل. وكذلك كلما بعد عن البصر تصير الزاوية التي يُرى بها دائمًا أضيق. فإذا بلغ بها الضيق إلى أن تصير في صورة خط لا عرض له لم ير المبصر الذي على قاعدتها لضيقها، ولا يزال يصغر المبصر دائمًا بصغر الزاوية حتى يصير من الصغر في المقدار الذي لا يدركه الحسّ البصري.



<و> لأية علة يرى الشيء الواحد شيئين أو أكثر؟ وعلى كم جهة يكون ذلك؟

قد قلنا فيما تقدم أن الحسّ البصري يدرك المبصرات إذا وقع عليها الشعاع البصري. فالمبصر إذا وقع عليه شعاع واحد رئي واحداً؛ فإن وقع عليه شعاعان رئي اثنين؛ فإن وقع <عليه> أكثر من شعاعين رئي أكثر من اثنين. فالمبصرات ترى بعدد الشعاعات الواقعة عليها. والشعاعات الواقعة على المبصرات تكون كثيرة على جهات مختلفة: إحداها من قبل انبثاث الشعاع من العينين، فإن كل عين ينبث منها مخروط شعاعي، فيجتمع المخروطان المنبثان من العينين، فيتركب منهما مخروط واحد شعاعي ترى به المبصرات، فيرى كل واحد من المبصرات واحداً. فإذا تهيأ أن يفترق المخروطان المنبثان من العينين حتى يقع على المبصر الواحد من كل واحد من العينين مخروط شعاعي / رئي الشيء الواحد اثنين. والشعاع المنبث من العينين يفترق حتى ٨١-و

5 ك ل: ط ل – 6 وكذلك: ولذلك – 8 ير: ترى – 11 أو أكثر: واكثر – 15 شعاعان: شعاعين – 20 واحداً: واحد.

se sépare pour devenir deux rayons, chacun d'eux tombe sur le visible qui sera vu deux pour deux causes, l'une naturelle et l'autre accidentelle. Quant à la <cause> naturelle, c'est l'écartement de l'une des deux pupilles par rapport à la direction <du regard> de l'autre, soit vers le haut, soit vers le bas comme ce qui se produit dans certaines façons de loucher, car celui qui louche, dont le strabisme écarte l'une des deux pupilles vers le haut ou vers le bas par rapport à la position de l'autre pupille, voit la même chose d'une certaine manière par chacun des deux yeux ; ceci est la cause naturelle pour laquelle une seule chose est vue double. La cause artificielle pour laquelle on voit la même chose deux et qu'on presse fortement l'une des deux pupilles d'en bas afin qu'elle s'élève au-dessus de la direction de l'autre pupille. Si en effet les positions des deux pupilles diffèrent par cette pression, une seule chose sera vue deux, car de cette pression se produit un certain strabisme au moment de la pression. Si cette pression disparaît, le strabisme disparaît et la pupille revient à sa position. Il se peut qu'une seule chose soit vue deux par une cause artificielle, sans pression ; c'est lorsque l'homme fixe par sa pupille une chose proche et une autre chose dans la direction de celle qu'il a fixée et qui est plus loin de l'œil qu'elle ; c'est alors qu'il voit une même chose deux. En effet, quand il regarde la plus proche et la fixe, l'un des deux rayons s'incline par rapport à l'autre et ainsi deux rayons tombent sur le visible le plus éloigné, il voit donc deux choses. Il peut voir deux choses pour une autre cause, qui se produit pour celui qui boit beaucoup de vin jusqu'à parvenir à l'état d'ivresse ; cet état nécessite la réunion de vapeurs dans les organes de la vision qui s'accumulent en eux et les déplacent de leurs positions. Il se produit alors par la vapeur accumulée comme ce qui se produit dans l'état de strabisme, et une seule chose sera alors vue deux. Une chose peut être vue multiple, si elle est vue dans un miroir ayant des surfaces polies bien distinctes pour que le miroir unique devienne comme plusieurs miroirs. D'une manière générale la cause globale d'après laquelle une même chose est vue deux ou plusieurs est que deux rayons ou plusieurs rayons tombent sur un même visible quelle que soit la manière par laquelle ils tombent sur le visible.[9]

– 7 – Qu'est-ce qu'un corps poli ? Combien y a-t-il d'espèces de corps polis dans lesquels l'homme voit sa forme et les formes de toutes les choses qui leur font face ?

Les corps polis sont ceux dont tous les points sont sur une même surface sans différence dans leurs positions, ni en hauteur, ni en profondeur. Ces corps se partagent en deux sections : il y a parmi eux des

[9] Les sources de ces passages sont à rechercher du côté de la tradition des *Problèmes aristotéliciens*, et réapparaissent dans des écrits arabes postérieurs. Pour un examen de cette question, cf. Marwan Rashed : "Notes sur la tradition gréco-arabe des problèmes aristotéliciens", à paraître dans *Arabic Sciences and Philosophy*.

يصير شعاعين يقع كل واحد منهما على المبصر، فيرى شيئين لعلتين: إحداهما طبيعية والأخرى عرضية. أما الطبيعية فهي زولان أحد الناظرين عن سمت الآخر إلى العلو أو إلى السفل، كالذي يعرض في بعض أصناف الحول. فإن الأحول، الذي حوله يزول أحد ناظريه إلى فوق أو إلى أسفل عن وضع ناظره الآخر، يرى الشيء الواحد نظراً ما بكل واحدة من العينين، فهذه العلة الطبيعية التي يرى بها الشيء الواحد شيئين. فأما العلة الصناعية التي يرى بها الشيء الواحد شيئين فهي أن يغمز أحد الناظرين من أسفل غمزاً قوياً حتى يرتفع عن سمت الناظر الآخر؛ فإن الناظرين إذا اختلف وضعهما بذلك الغمز رئي الشيء الواحد شيئين لأنه يحدث عن الغمز حول ما في وقت الغمز. فإذا زال ذلك الغمز زال الحول ورجع الناظر إلى موضعه. وقد يرى الشيء الواحد شيئين بعلة صناعية من ‹غير› غمز، وذلك إذا حدق الإنسان بناظره إلى شيء قريب وشيء آخر مسامت لذلك الشيء الذي قد حدق إليه وهو أبعد عن البصر منه، فإنه عند ذلك يرى الشيء الواحد شيئين. وذلك أن بنظره إلى الأقرب وبتحديقه إليه يميل أحد الشعاعين عن الآخر، فيقع على المبصر الأبعد شعاعان فيَرى شيئين. وقد يرى الشيء الواحد شيئين لعلة أخرى تعرض في من شرب نبيذاً كثيراً وصار به إلى حال السُكْر، فإن تلك الحال توجب اجتماع بخارات في آلات البصر تتحافز بها تلك الآلات فيزول وضعها، فيحدث بالبخار المتحافز كالذي يحدث في حال الحول، فيرى الشيء شيئين. وقد يرى الشيء أشياء كثيرة إذا رئي في مرآة مختلفة السطح الصقيل اختلافًا متباينًا حتى تصير المرآة الواحدة كأنها مرايا كثيرة. وبالجملة، فإن العلة الشاملة التي لها يرى الشيء الواحد شيئين أو أشياء كثيرة هي أن يقع على المبصر الواحد شعاعان أو شعاعات كثيرة على أي جهة كان وقوعها على المبصر.

– زَ – ما الجرم الصقيل؟ وكم أنواع الأجرام الصقيلة التي يرى فيها الإنسان صورته وصور جميع الأشياء التي تقابلها؟

الأجرام الصقيلة هي التي كل نقطة عليها في سطح واحد لا اختلاف في أوضاعها في ارتفاع ولا هبوط. وهذه الأجرام تنقسم قسمين: منها

4 يزول: يزولان – 5 ما: مكررة – 8 الناظرين: النظرين – 17 في من: فيمن – 18 فيزول: فتزل – 20 إذا: واذا – 21 اختلافًا: احداها.

81v corps liquides / comme l'eau, la graisse, l'huile, le miel et le mercure et toutes les humidités pures qui ne sont pas altérées par des impuretés ; il y a parmi eux des corps secs qui peuvent être polis comme le fer, le cuivre rouge, l'or, le cuivre jaune, et leurs semblables. L'homme voit sa forme dans chacun de ces corps. Il n'y voit pas seulement sa forme mais il y voit tous les visibles qui sont placés comme lui, quelles que soient les figures et les distances de ces visibles lorsqu'ils font face au corps poli et lorsque l'homme fixe par sa vue le corps poli. C'est de cette manière que l'homme voit son visage dans les gouttes d'eau, si les gouttes le mouillent et si l'eau est pure ; il voit son visage dans le miel, dans l'huile et dans les autres humidités que nous avons mentionnées, et il voit le soleil, la lune et les astres dans l'eau du Tigre et dans toutes les autres humidités pures entre lesquelles et le soleil, les astres et toutes les autres choses qu'on peut voir en elles, il n'y a pas d'obstacle.

– 8 – De quelle manière voit-on le visage dans le miroir et dans tous les corps polis ?

Nous avons mentionné précédemment comment se fait la vision, comment les visibles sont vus par le rayon visuel qui tombe sur eux, comment le rayon visuel est renvoyé en se brisant s'il tombe sur des corps polis, et comment en se brisant le rayon tombe sur le visage et sur d'autres visibles : on voit tous ceux sur lesquels tombe le rayon réfléchi dans le miroir et dans les autres corps polis en raison du fait que le rayon visuel tombe sur eux.

Posons pour cela un exemple géométrique pour montrer ce que nous avons dit par une preuve sensible :

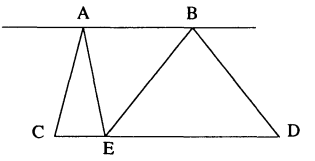


Fig. 2

Imaginons un miroir suivant la ligne *AB* et le visage suivant *CD* ; soit le cône *AEB* un corps[10] radiant. Imaginons que le rayon *EB* se réfléchit suivant *BD* et que le rayon *EA* se réfléchit suivant *AC*, alors tout rayon qui est entre les deux droites *EA* et *EB* est réfléchi pour venir entre les deux droites *AC* et *BD*. Ce qui est entre les deux droites *AC* et *BD* sera

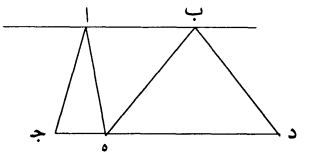
[10] Corps (*jirm*) : La présence de ce terme est bien surprenant ; il se peut qu'il fût à l'origine *makhrūṭ* (cône). Il fallait cependant, on le comprendra, le laisser dans l'état.

أجرام سيالة / مثل الماء والدهن والزيت والعسل والزئبق وجميع ٨١-ظ
الرطوبات الصافية التي لا يشوبها كدر؛ ومنها الأجرام اليابسة التي تحتمل
الصقال مثل الحديد والنحاس والذهب والصفر وما أشبه ذلك. فإن الإنسان
يرى صورته في كل جرم من هذه الأجرام، وليس إنما يرى صورته فقط،
لكن يرى فيها كل المبصرات التي عادلها، أي مبصرات كانت في أشكالها
وفي أبعادها، إذا ما قابلت الجرم الصقيل وحدق الإنسان ببصره إلى الجرم
الصقيل. وعلى هذه الجهة يرى الإنسان وجهه في حبّ الماء إذا أبلّت عليه
وكان صافيًا، ويرى صورة وجهه ‹في› العسل والزيت وغيره من
الرطوبات التي ذكرنا، حتى يرى الشمس والقمر والكواكب في ماء دجلة
وفي سائر الرطوبات الصافية التي لا حاجز بينها وبين الشمس والكواكب
وسائر الأشياء التي ترى فيها.

- ح - على أي جهة يرى الوجه في المرآة وفي سائر الأجسام الصقيلة؟

قد ذكرنا فيما تقدم كيف يكون البصر، وأن المبصرات تبصر بوقوع
الشعاع البصري عليها و‹أن› الأجرام الصقيلة إذا وقع عليها الشعاع
البصري ترده منعطفًا، وفي انعطاف الشعاع يقع على الوجه وعلى مبصرات
أخر، فيرى جميع ما يقع عليه الشعاع المنعطف في المرآة وفي غيرها من
الأجرام الصقيلة لوقوع الشعاع البصري عليه.

ولنجعل لذلك مثالاً خطوطيًا يتبين به ما قلناه بيانًا حسّيًا.



فلنتوهم مرآة على خط ا ب، وليكن الوجه على ج د، ‹وليكن›
مخروط ا ه ب جرمًا شعاعيًا، ولنتوهم أن شعاع ه ب قد انعكس على
ب د ‹و›شعاع ه ا قد انعكس على ا ج، فيكون الشعاع الذي بين خطي
ه ا ه ب قد انعكس حتى صار بين خطي ا ج ب د، فيصير ما بين خطي

5 عادلها: عادبها - 6 ما: ماذا - 19 يتبين: نبين.

en entier un rayon réfléchi[11], donc ce rayon tombe sur *CD* qui est le visage et on voit *CD* qui est le visage sur lequel est tombé le rayon réfléchi sur le miroir *AB* ; de cette manière, on voit le visage dans tout miroir et dans tous les corps polis.

– 9 – De quelle manière voit-on tous les visibles dans le miroir et dans tous les corps polis ?

82r Tous les visibles sont vus dans les miroirs et dans tous les corps / polis de la manière selon laquelle on voit le visage dans le miroir, c'est-à-dire que le rayon visuel se réfléchit sur les miroirs et ainsi, si le rayon visuel se réfléchit sur le miroir et tombe sur un visible quelconque, il lui est possible de voir cela dans le miroir.

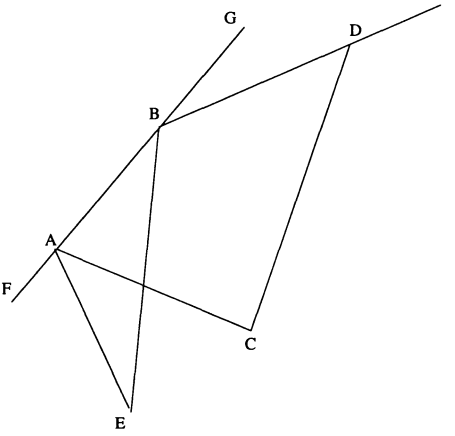


Fig. 3

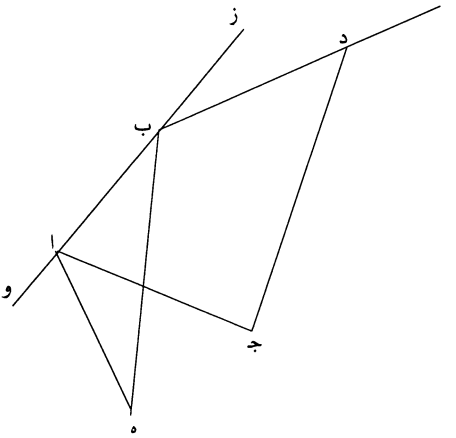
Exemple : Supposons le miroir *AB* ; que l'œil à partir duquel se disperse le rayon visuel soit au point *E*, et que le rayon visuel qui se disperse à partir du point *E* vers le miroir *AB* soit entre les deux droites *EA* et *EB* ; prolongeons la droite *AB* dans les deux directions à la fois et supposons sur ses extrémités les deux points *F* et *G*, alors le rayon *EA* se réfléchit sur le miroir *AB* suivant la ligne *EAC* et le rayon *EB* se réfléchit suivant la ligne *EBD* ; ce qui est entre les deux points *A* et *B* et les deux droites *AC* et *BD* est le rayon visuel émergeant du miroir *AB* ; et on voit dans le miroir ce sur quoi tombe ce rayon. Supposons un

[11] Litt. : visuel. Il s'agit du faisceau de rayons réfléchis. La construction exacte des rayons réfléchis utilise les lois de la réflexion, qu'Ibn Lūqā rappelle au chapitre 10.

آ جـ ب د كله شعاعًا بصريًا، فيقع ذلك الشعاع على جـ د الذي هو الوجه، فيرى جـ د وهو الوجه الذي وقع عليه الشعاع المنعكس عن المرآة التي عليها آ ب. وعلى هذه الجهة يرى الوجه في كل مرآة وفي سائر الأجرام الصقيلة.

5 <ط> على أي جهة ترى سائر المبصرات في المرآة وفي سائر الأجرام الصقيلة؟

سائر المبصرات ترى في المرايا وفي سائر الأجرام / الصقيلة على ٨٢-و الجهة التي يرى بها الوجه في المرآة، وهي أن الشعاع البصري ينعكس عن المرايا، فإذا انعكس عن المرآة الشعاع البصري ووقع على أي مبصر اتفق، 10 رُئي ذلك في المرآة.



ومثال ذلك: لنفرض مرآة عليها آ ب، ولتكن العين التي ينبث منها الشعاع البصري على نقطة هـ، والشعاع البصري المنبث <من> نقطة هـ إلى مرآة آ ب بين خطي هـ آ هـ ب، ولنمد خط آ ب في الجهتين جميعًا، ونفرض على نهايتيه نقطتي وَ زَ، فشعاع هـ آ ينعكس عن مرآة آ ب على خط هـ آ جـ، وشعاع هـ ب ينعكس على خط هـ ب د ويكون ما بين نقطتي آ ب، وخطي آ جـ ب د شعاع بصري منبث عن مرآة آ ب، فما وقع عليه هذا

1 شعاعًا: شعاعيا – 12 البصري (الأولى): البصر / نقطة (الثانية): نقط – 15 هـ ب د: د ب ن.

visible sur *CD*, le visible qui est sur *CD* est vu dans le miroir *AB*, quel que soit ce visible ; c'est de cette manière qu'on voit les visibles dans les corps polis et dans tous les miroirs.

– 10 – Que signifie la réflexion du rayon sur les corps polis et suivant quels angles se réfléchit-il ?

Le rayon visuel, et même tout rayon, s'il rencontre un corps poli, se réfléchit sur lui suivant des angles égaux ; par "angles égaux", je veux dire que l'angle limité par le rayon émergeant vers le corps poli avec le corps poli est égal à l'angle limité par le rayon réfléchi sur le corps poli, avec le corps poli.

Posons pour cela un exemple géométrique pour montrer ce que nous avons dit, c'est-à-dire la réflexion du rayon suivant des angles égaux.

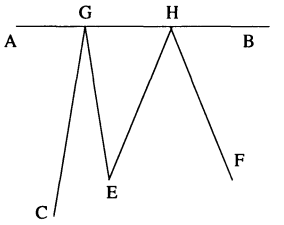


Fig. 4

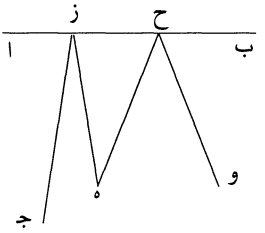
Imaginons une surface polie *AB* et un rayon qui y aboutit à partir du point *E* sous la forme d'un cône *EGH* ; le sommet du cône radiant est donc le point *E* et sa base est *GH*, donc les angles limités par le rayon émergeant vers le corps poli avec le corps poli sont l'angle *EGH* et l'angle *EHG*. Que le rayon *EG* se réfléchisse sur le corps poli suivant la droite *GC* et que le rayon *EH* se réfléchisse sur le corps poli suivant la droite *HF* ; l'angle *EGH* limité par le rayon émergeant de l'œil vers le corps poli est donc égal à l'angle *AGC* limité par le corps poli et le rayon

الشعاع رئي في المرآة. وننزل مبصراً على جـ د ، فالمبصر الذي على جـ د يرى في مرآة آ ب، أي مبصر كان. وعلى هذه الجهة ترى المبصرات في الأجرام الصقيلة وفي جميع المرايا.

– يَ – ما معنى انعكاس الشعاع عن الأجرام الصقيلة وعلى أي زوايا ينعكس؟

الشعاع البصري، بل كل شعاع، إذا لاقى جرمًا صقيلاً انعكس منه على زوايا متساوية، وأعني بقولي زوايا متساوية أن تكون الزاوية التي يحيط بها الشعاع المنبث إلى الجرم الصقيل <مع الجرم الصقيل> مساوية للزاوية التي يحيط بها الشعاع المنعكس عن الجرم الصقيل مع الجرم الصقيل.

ولنجعل لذلك مثالاً خطوطيًا يتبين به ما قلنا، أعني انعكاس الشعاع على زوايا متساوية.



فلنتوهم سطحًا صقيلاً عليه آ ب وشعاعًا منتهيًا إليه من نقطة هَ في هيئة مخروط عليه ه ز ح، فيكون رأس المخروط الشعاعي نقطة <هَ> وقاعدته ز ح، فتكون الزاويتان اللتان يحيط بهما الشعاع المنبث إلى الجرم الصقيل مع الجرم الصقيل زاوية ه ز ح وزاوية ه ح ز. ولينعكس شعاع ه ز عن الجرم الصقيل على خط ز جـ، ولينعكس شعاع ه ح عن الجرم الصقيل على خط ح و، فتكون زاوية ه ز ح التي يحيط بها الشعاع المنبث من البصر إلى الجرم الصقيل مساوية لزاوية آ ز جـ التي يحيط بها الجرم الصقيل مع الشعاع المنعكس. وكذلك أيضًا تكون زاوية ه ح ز

15 الزاويتان اللتان : الزاوية التي / بهما : بها – 17 ولينعكس : وبعكس – 20 وكذلك : ولذلك.

réfléchi. De même l'angle *EHG* est égal à l'angle *BHF* et les rayons *EG* et
82v *EH* se réfléchissent suivant des angles égaux, / suivant les deux droites *GC* et *HF*. Nous avons donc montré comment se fait la réflexion du rayon suivant des angles égaux[12].

– 11 – De combien de sortes sont les miroirs ? Et comment définir chaque miroir ?

Les miroirs sont différents en raison de l'élément qui est leur substance et en raison de la figure qui est leur forme. Leur différence selon leur élément tient à ce que parmi eux, il y a ceux dont l'élément est du verre[13] et ceux dont l'élément est du fer. Il se peut que leur élément soit cuivre rouge, ou or, ou argent, mais de la différence d'après leur élément, il ne résulte pas de différence du visible en eux si ce n'est dans la clarté et la distinction de la forme, et l'exactitude ou la faiblesse de sa perception. Cette espèce de différence est illimitée, c'est pourquoi nous n'avons pas besoin de la mentionner. De la différence des miroirs d'après leur figure, il résulte pour les formes du visible une grande différence dans leur grandeur en petitesse et en grandeur, dans la régularité et l'irrégularité de leurs positions et dans leur nombre.

Dans l'intention de le montrer, nous disons que les figures des premiers miroirs sont trois : il y a ceux à surface plane, ceux à surface convexe et ceux à surface concave. La convexité et la concavité sont de trois sortes : convexité sphérique, convexité cylindrique et convexité conique ; la concavité également est sphérique, cylindrique ou conique. Puisque le plus utilisé des miroirs, en convexité ou en concavité ensemble, est la figure sphérique qui est la figure dont nous entendons parler, commençons par introduire la fabrication du miroir à surface plane, pour poursuivre par la fabrication du miroir convexe à convexité sphérique et pour poursuivre en évoquant le miroir concave à concavité sphérique.

– 12 – Par quoi définir un miroir à surface plane ? Le miroir à surface plane est tel que, si on pose son milieu comme axe, si on monte sur lui un gabarit à face plane et si on le fait tourner sur la surface du miroir, il touche toute la surface du miroir d'un même contact et il ne peut pas y avoir un seul point ni en creux, ni en bosse par rapport à la règle. Le miroir dont la figure est celle-ci est tel que sa surface plane se superpose à toute surface plane avec une superposition régulière, et que chaque point de l'une touche un point de l'autre.

---

[12] Ibn Lūqā suppose, sans le dire, que le plan de la figure, c'est-à-dire le plan contenant les deux rayons incidents *EH* et *EG*, contient les normales en *H* et *G* à la surface du miroir. Les rayons réfléchis sont alors dans le plan défini par les rayons incidents et vérifient les égalités d'angles rappelées par l'auteur. Si la surface du miroir est une surface courbe, il s'agit dans chaque cas de l'angle du rayon avec un arc de courbe.

[13] Litt. : des bouteilles en verre.

مساوية لزاوية ب ح و <و>يكون شعاع ه ز ه ح قد انعكس على زوايا متساوية / على خطي ز جـ ح و. فقد بينا كيف هو انعكاس الشعاع على ٨٢-ظ زوايا متساوية.

– يا – كم أصناف المرايا؟ وبماذا تحدّ كل مرآة؟

المرايا تختلف من قِبل العنصر الذي هو جوهرها، ومن قبل شكلها الذي هو صورتها. فأما اختلافها من قبل عنصرها فهو أن منها ما يكون عنصره قوارير ومنها ما يكون عنصره حديداً. ويمكن أن يكون عنصرها نحاساً أو ذهبًا أو فضة. واختلافها من قبل عنصرها لا يكون عنه اختلاف في المبصرات فيها إلا من جهة بيان الصورة وفصاحتها أو حقيقتها أو ضعف إدراكها. وهذا النوع من الاختلاف غير محصور، ولذلك لا حاجة لنا إلى ذكره. فأما اختلاف المرايا من جهة شكلها، فإنه يحدث عنه في صور المبصرات اختلاف كبير في مقاديرها، في الصغر والعظم، وفي استواء أوضاعها واختلافه، وفي عددها.

<و>نقصد لإبانته فنقول: إن أشكال المرايا الأوَل ثلاثة: فمنها مستوية السطح ومنها مقببة ومنها مقعرة. وأصناف التقبيب والتقعير ثلاثة، فمنها تقبيب كري ومنها تقبيب أسطواني ومنها تقبيب مخروطي. والتقعير أيضًا فمنه كري ومنه أسطواني ومنه مخروطي. ولأن المستعمل كثيراً من المرايا في التقبيب والتقعير جميعًا هو الشكل <الكري الذي هو الشكل> الذي نقصد القول فيه، فلنقدم أوّلاً صنعة المرآة المستوية السطح ثم نتبع ذلك بصنعة المرآة المقببة تقبيبًا كريًا ثم نتبعه بذكر المرآة المقعرة تقعيراً كريًا.

– يب – بماذا تحد المرآة المستوية السطح؟

المرآة المستوية السطح هي التي إذا جعل وسطها قطبًا وركبت عليه مسطرة مستوية الوجه وأديرت على سطح المرآة ماست وجه المرآة كله مماسة واحدة، ولم يكن فيها نقطة منخفضة عن المسطرة ولا ناتئة عنها. والمرآة التي هي هذا شكلها يطابق سطحها المستوي كل سطح مستوٍ تلقاه مطابقة معتدلة وتماس كل نقطة من أحدهما كل نقطة من الآخر.

2 ز جـ ح و: ر ح د / هو: هو ان – 7 عنصره (الأولى): عنصرها – 16 مخروطي: مخروط – 17 مخروطي: مخروط – 18 التقبيب: قد تقرأ «النتوء» – 19 فلنقدم: وبقدم – 20 المقببة: الصقيلة.

– 13 – Par quoi définir un miroir convexe à convexité sphérique ?

Le miroir convexe dont la convexité est sphérique est tel que sa surface convexe est une portion de la surface d'une sphère. Si on prend un arc du demi-cercle qui a engendré cette surface sphérique et qu'on le divise en deux moitiés, si on fixe le point qui l'a divisé en deux moitiés du côté du
83r creux de l'arc, sur le centre du miroir, et si on fait tourner / l'arc sur la surface du miroir, ce qui se trouve de l'arc dans le miroir touche toute la surface du miroir et passe par tout point sur la surface du miroir ; cet arc est le gabarit du miroir qui rectifie la face dans laquelle on voit le visible.

- 14 – Par quoi définir un miroir concave à concavité sphérique ?

Le miroir concave dont la concavité est sphérique est tel que sa surface concave est composée d'une portion d'une surface sphérique. Le gabarit par lequel elle est rectifiée est une portion d'arc du demi-cercle qui a engendré cette surface sphérique. Si on divise le gabarit en deux moitiés, si on pose le point qui l'a divisé au centre du miroir et si on le fait tourner sur sa surface concave, il la touche en entier sans qu'aucun point de cette surface ne soit ni en creux, ni en relief par rapport à elle.

– 15 – Par quoi vérifier le miroir à face plane pour savoir que sa face est parfaitement plane sans présenter d'irrégularités ?

On vérifie la rectitude de la face du miroir à face plane afin d'établir son exactitude en y regardant le visage de près et de loin. Si on voit le visage dans le miroir, de près et de loin, d'une même forme, sans différence, alors la face sera d'une régularité extrême. Si la forme du visage diffère en grandeur ou en petitesse, la face sera irrégulière. Si on y voit le visage de près dans une forme plus grande que la forme dans laquelle on l'y voit de loin, ceci indique que sa face s'écarte de la rectitude vers la concavité. Si on y voit le visage de près plus petit que la forme dans laquelle on l'y voit de loin, ceci t'indique que sa face s'écarte de la rectitude vers la convexité.

On peut également vérifier le miroir à face plane par une autre vérification, en le mettant parallèlement au soleil pour que le rayon du soleil tombe sur lui et qu'il le réfléchisse sur le sol ou sur un mur ; si son rayon réfléchi est d'une luminosité égale, sa surface sera plane sans irrégularité ; si sa luminosité est inégale, sa face sera irrégulière et la grandeur de cette irrégularité en plus ou en moins est de la grandeur de l'inégalité que l'on voit dans le rayon réfléchi en plus ou en moins.

– يجـ – بماذا تحدّ المرآة المقببة تقبيباً كرياً؟

المرآة المقببة تقبيباً كرياً هي التي سطحها المقبب قطعة من بسيط كرة. وإذا أخذ من نصف الدائرة التي حدث عنها ذلك البسيط الكري قوس وقسمت بنصفين وأثبتت النقطة التي قسمتها بنصفين من جهة أخمص القوس على مركز المرآة وأديرت / القوس على وجه المرآة ماسّ ما وقع من ٨٣-و القوس في المرآة جميع سطح المرآة وجاز على كل نقطة من بسيط المرآة. وهذه القوس هي مسطرة المرآة التي تُقوم وجهها الذي فيه تبصر المبصرات.

– يدـ – بماذا تحدّ المرآة المقعرة تقعيراً كرياً؟

المرآة المقعرة تقعيراً كرياً هي التي سطحها المقعر يتركب من قطعة من بسيط كري، ومسطرتها التي تُقوم بها قطعة من قوس نصف الدائرة التي حدث عنها ذلك البسيط الكري. فإذا قسمت المسطرة بنصفين ووضعت النقطة التي قسمتها على مركز المرآة وأديرت على سطحها المقعر ماست جميعها، ولم يكن منه نقطة منخفضة عنها ولا عالية عليها.

– يهـ – بماذا نمتحن المرآة المستوية الوجه حتى نعلم أن وجهها مستوٍ استواءً صحيحًا لا اختلاف فيه؟

المرآة المستوية الوجه يمتحن استواء وجهها حتى يوقف على صحته بأن يبصر الوجه فيها عن قريب وعن بعيد. فإن رئي ‹الوجه فيها› عن القرب والبعد في صورة واحدة لا اختلاف فيها، كان وجهها مستويًا استواءً مستقصى. وإن اختلفت صورة الوجه في العظم والصغر، كان وجهها مختلفًا. وإن رئي الوجه فيها من قرب في صورة أعظم من الصورة التي يرى فيها من بعد، دلّ ذلك على أن وجهها قد خرج عن الاستواء إلى التقعير. وإن رئي الوجه فيها من قرب أصغر من الصورة التي يرى فيها من بعد، دلّ ذلك على أن وجهها قد خرج عن الاستواء إلى التقبيب.

وقد نمتحن أيضًا المرآة المستوية الوجه بمحنة أخرى، وهي أن نحاذي بها الشمس حتى يقع شعاع الشمس عليها وتعكسه على الأرض أو على حائط، فإن كان شعاعها المنعكس مستوي الاستنارة، كان سطحها مستويًا لا اختلاف فيه. وإن اختلفت استنارته، كان وجهها مختلفًا، ومقدار اختلافه في الكثرة والقلة بمقدار ما يرى في الشعاع المنعكس عنه من الاختلاف.

7 وهذه: وهذا – 13 عنها: عليها – 21 خرج: اخرج – 26 مستوي: مستو.

– 16 – Par quoi vérifier le miroir convexe pour savoir que sa convexité est parfaitement sphérique sans présenter d'irrégularités ?

On connaît l'exactitude de la convexité des miroirs convexes à convexité sphérique de deux manières. D'une part, on y voit le visage petit et en plus de sa petitesse, d'une facture régulière, indemne de déformation, lorsqu'on rapproche le miroir du visage ou qu'on l'en éloigne. D'autre part, si on le met face au soleil et si on projette son rayon sur le sol ou sur un mur, la luminosité du rayon sera égale et
83v aucune de ses parties ne sera ni en pureté / ni en intensité lumineuse, plus que l'autre, même si cette intensité est faible, puisque le rayon réfléchi sur tous les miroirs convexes est faible car la figure convexe disperse le rayon, comme nous l'avons montré précédemment.

– 17 – Par quoi vérifier le miroir concave, à concavité sphérique pour savoir que sa concavité est parfaitement sphérique ?

C'est à l'aide de trois notions que nous vérifions le miroir concave à concavité sphérique pour savoir que sa concavité est parfaitement sphérique.

Première notion : il embrase fortement. En effet, tout miroir concave à concavité sphérique embrase ; son embrasement se différencie cependant selon la distance à laquelle il embrase, et suivant la vitesse ou le ralentissement. Quant à la différence de la distance de l'embrasement, elle est en raison de la différence de la concavité. Ainsi si la concavité est grande, alors l'embrasement se fera à une distance proche, et si la concavité est petite, alors l'embrasement se fera à une distance lointaine. Quant à la différence de l'embrasement en vitesse et en ralentissement, elle est en raison de la correction de la concavité ou de sa corruption. En effet, si elle est correcte, alors l'embrasement sera rapide, et si elle est imparfaite, alors l'embrasement sera lent ; ceci est l'une des vérifications par laquelle on vérifie le miroir concave.

Deuxième vérification : on vérifie par la forme que l'on voit en lui. En effet, il fait voir les formes des choses inégales en grandeur et en petitesse. Si donc il fait voir la forme, avec la diversité de ses grandeurs, d'une facture régulière, belle, indemne de déformation, alors le miroir est d'une concavité parfaite. Mais si on voit dans l'une de ses positions ou l'une de ses distances au visage le visage déformé, alors sa concavité est inégale.

Troisième vérification : le rayon réfléchi sur ce miroir est d'une lumière égale, mais si pour certaines distances elle est forte, pour d'autres elle est faible ; mais elle est partout égale.

– يو – بماذا نمتحن المرآة المقبّبة حتى نعلم أن تقبّبها كري صحيح لا اختلاف فيه؟

المرآة المقبّبة تقبيباً كريًا يعلم صحة تقبّبها من جهتين، إحداهما أن يرى الوجه فيها صغيراً، ومع صغره تكون خلقته مستوية سليمة من التشويه في قربها من الوجه وفي بعدها عنه. وإذا قوبل بها الشمس وألقت شعاعها على الأرض أو على حائط، كانت استنارة الشعاع متساوية، ولم يكن ‹بعضها› أكثر من بعض في الصفاء / والنور وإن كان ضعيفًا؛ فإن الشعاع المنعكس ٨٣-ظ عن المرايا المقببة كلها يكون ضعيفًا لأن الشكل المقبب يفرق الشعاع كما بينا فيما تقدم.

– يز – بماذا نمتحن المرآة المقعرة تقعيراً كريًا حتى نعلم أن تقعيرها كري صحيح؟

المرآة المقعرة تقعيراً كريًا يمتحن تقعيرها حتى يعلم أنه صحيح بثلاثة معان. الأوّل منها أن تحرق إحراقًا قويًا، وذلك أن كل مرآة مقعرة تقعيراً كريًا تحرق، إلا أن إحراقها يختلف في المسافة التي تحرق عليها وفي السرعة والإبطاء. وأما اختلاف مسافة الإحراق فمن قِبل اختلاف التقعير؛ وذلك أنه إذا كان التقعير كبيراً، كان الإحراق على مسافة قريبة، وإذا كان التقعير قليلاً، كان الإحراق على مسافة بعيدة. وأما اختلاف الإحراق في السرعة والإبطاء، فيكون من قبل صحة التقعير وفساده. وذلك لأنه إن كان صحيحًا كان الإحراق سريعًا، وإن كان غير صحيح، كان الإحراق بطيئًا. فهذه إحدى المحن التي تمتحن بها المرآة المقعرة.

والمحنة الثانية: أن تمتحن بخلقة ما يُرى فيها. وذلك أنها تُري صور الأشياء مختلفة في العظم والصغر، فإن أرت الصورة على اختلاف مقاديرها مستوية الخلقة جميلة سليمة من المشوبة فهي صحيحة التقعير. وإن أرت في شيء من أوضاعها وأبعادها عن الوجه ‹الوجه› مشوهًا، كان تقعيرها مختلفًا.

والمحنة الثالثة: أن يكون الشعاع الذي ينعكس عنها مستوي النور، وإن كان في بعض الأبعاد قويًا وفي بعضها ضعيفًا، إلا أنه في جميع ذلك متساوٍ.

4 ومع: ومن، ربما كانت في الأصل «وفي» – 23 المشوبة: وتعني الاختلاط، ويقصد بها هنا «التشويه» – 27 إلا أنه: لانه.

– 18 – Quelle est la différence entre le fait de voir le visage déformé dans le miroir ou d'une forme différente ?

On voit le visage déformé dans le miroir, s'il y est vu s'écartant de sa forme réelle non seulement en grandeur, mais aussi en figure. En effet si on le voit augmenté en longueur et diminué en largeur, ou si on voit une de ses parties augmentée en grandeur par rapport à la grandeur normale et une autre diminuée par rapport à celle-ci, ou si on voit le nez très tordu, et les lèvres et les yeux très longs, on voit de même toutes ses parties de figures différentes.

Le visage vu d'une forme différente dans le miroir, est celui qui est vu très grand ou très petit, sa grandeur et sa petitesse sont en proportion
84r pour toutes ses parties les unes aux / autres et pour lui tout entier. Sa forme sera correcte, de facture régulière, si ce n'est qu'elle excède en grandeur ou en petitesse la grandeur normale sous laquelle on voit le visage si on le voit sans miroir.

On voit également la forme du visage dans le miroir, irrégulière sans déformation, si le nombre de ses organes augmente, jusqu'à ce qu'on lui voit trois yeux, ou quatre yeux, ou deux nez, la facture de ces yeux et du nez étant toutefois régulière.

On peut voir dans le même miroir plusieurs visages de figure régulière et non déformée. Parmi ces miroirs, pour ceux dans lesquels on voit les formes dans leur figure naturelle, on dit que la forme du visage y est vue irrégulière mais non déformée ; et pour ceux dans lesquels la forme du visage est irrégulière dans la figure mais non dans la grandeur et le nombre – ou dans la figure, la grandeur et le nombre ensemble – on dit que la forme du visage y est vue déformée.

– 19 – Dans quels miroirs voit-on le visage déformé et quelle est la cause de cela ?

On voit le visage déformé dans le miroir et dans tous les corps polis, si la figure du miroir ou celle des autres corps polis est différente dans sa forme et présente des écarts, dans sa figure, par rapport à la figure du visage. En effet, le rayon se réfléchit sur tout corps poli d'une réflexion de la même figure que sa forme. On voit le visage dans le corps poli de la même forme que le rayon qui le rencontre. Si donc le rayon qui tombe sur lui est d'une figure allongée, et si les angles suivant lesquels il se réfléchit sont petits, on voit le visage allongé. Si on le voit sur une face allongée, si le visage est en largeur et si les angles suivant lesquels il se réfléchit sont grands, il sera vu large, comme cela se produit pour l'épée :

– يَحَ – ما الفرق بين أن يرى الوجه في المرآة مشوهًا وبين أن يرى مختلف الصورة؟

الوجه يُرى في المرآة مشوهًا إذا رئي فيها خارجًا عن صورته الحقيقية، ليس في المقدار لكن في الشكل أيضًا. وذلك إذا رئي زائداً في طوله ناقصًا في عرضه، أو يرى بعضه زائداً في العظم على المقدار المعتدل وبعضه ناقصًا عنه، أو يرى الأنف منه معوجًا تعويجًا شديداً والشفتان والعينان طوالاً جداً، وكذلك سائر أجزائه ترى مختلفة الشكل.

فأما الوجه الذي يرى في المرآة مختلف الصورة، فهو الذي يرى عظيمًا جداً أو صغيراً جداً. وعظمه وصغره على مناسبة في أجزائه بعضها عند / بعض وعند جملته، فتكون صورته صحيحة مستوية الخلق إلا أنها زائدة ٨٤-و العظم أو زائدة الصغر على المقدار المعتدل الذي يرى ‹عليه› الوجه إذا رأى بغير مرآة.

وقد ترى صورة الوجه أيضًا في المرآة مختلفة غير مشوهة إذا زاد عدد أعضائه حتى يرى له ثلاث أعين أو أربع أعين وأنفان، إلا أن خلقة تلك الأعين والأنف مستوية الشكل.

وقد ترى في المرآة الواحدة وجوه كثيرة مستوية الشكل غير مشوهة. فما كان من المرايا يُرى فيه هذه الصور في شكلها الطبيعي قيل إن صورة الوجه ترى فيها مختلفة ليست مشوهة، وما اختلف فيه صورة الوجه في الشكل لا في العظم والعدد، أو في الشكل والعظم والعدد جميعًا [من] قيل إن صورة الوجه ترى فيه مشوهة.

– يطَ – أي المرايا يرى الوجه فيها مشوهًا؟ وما علة ذلك؟

الوجه يُرى في المرآة وسائر الأجرام الصقيلة مشوهًا إذا كان شكل المرآة أو غيرها من الأجرام الصقيلة مختلفًا في صورته خارجًا في شكله عن مناسبة شكل الوجه؛ وذلك أن الشعاع ينعكس عن كل جرم ‹صقيل› انعكاسًا مشاكلاً لصورته. والوجه يُرى في الجرم الصقيل في صورة الشعاع الذي يلاقيه. فإذا كان الشعاع الذي يقع عليه في شكله مستطيلاً وكانت الزوايا التي ينعكس عليها صغاراً، رئي الوجه طويلاً. فإن رئي في وجه مستطيل وكان الوجه عرضًا وكانت الزوايا التي ينعكس عليها عظامًا، رئي عريضًا،

6 طولاً: طوال – 9 وعظمه: او عظمه – 13 مشوهة: مشوبه – 16 كثيرة: كثير – 17 في: هي – 21 فيها: فيه – 28 الوجه: وجهه.

si elle fait face verticalement au visage, celui-ci sera vu en elle long et si elle lui fait face horizontalement, il sera vu large. En général, la déformation du visage s'ensuit de la figure du corps poli sur lequel se réfléchit le rayon par lequel le visage est donc vu entre les angles suivant lesquels il se réfléchit ; c'est d'après sa figure et les angles de la réflexion du rayon sur lui que l'on voit sa déformation.

– 20 – Dans quels miroirs voit-on le visage d'une forme différente sans qu'il soit déformé ? Et quelle en est la cause ?

Dans les miroirs dont les figures sont de facture régulière, sans qu'ils soient de surface plane, on voit le visage dans une forme inégale en grandeur et en petitesse mais sans qu'on l'y voit déformé. Ces miroirs sont les miroirs convexes à convexité sphérique et les miroirs concaves à concavité sphérique. En effet, les figures de ces miroirs sont de facture
84v régulière sans qu'il y ait des différences, on y voit le visage / écarté de la normale dans la grandeur et non pas dans la figure, car on le voit dans les uns plus grand que sa grandeur réelle et on le voit dans les autres plus petit que sa grandeur réelle. On le voit dans les uns inversé et dans les autres ayant trois yeux ou quatre yeux ; cependant la facture de toutes ces formes est régulière, dépourvue de déformation. C'est en effet en raison des surfaces de ces miroirs : elles sont dépourvues d'inégalités dans leurs parties car, pour la surface convexe ou concave, ses parties se superposent les unes aux autres, étant donnée l'équidistance[14], et étant donné qu'elles sont dépourvues de différence. Nous allons montrer cela d'une manière particulière dans les propositions que nous allons exposer par la suite, si Dieu le veut.

– 21 – Sous quelle forme voit-on le visage dans chacun des miroirs définis qui sont le miroir plan, le miroir convexe à convexité sphérique, le miroir concave à concavité sphérique ?

Dans les miroirs dont la surface est régulière, d'une régularité extrême, dépourvue de concavité et de convexité, on voit le visage dans sa forme réelle ; par "forme réelle", je veux dire la forme sous laquelle on voit le visage sans miroir qui ne l'excède pas et qui ne lui est pas inférieure.

Dans les miroirs convexes à convexité sphérique, on voit le visage plus petit que sa forme réelle sous laquelle il est vu sans miroir.

---

[14] Sur une surface sphérique, tous les points sont à une même distance du centre de la sphère, donc une partie de cette surface entourant un point *A* est superposable à une partie entourant un point *B*.

كالذي يعرض في السيف، فإنه إن قابل الوجه قائماً، رئي فيه طويلاً؛ وإن قابله معترضًا، رئي عريضًا. وبالجملة، فإن تشويه الوجه يتركب من شكل الجرم الصقيل الذي ينعكس عنه الشعاع، فيرى به الوجه بين الزوايا التي ينعكس عنها؛ فعلى شكله وزوايا انعكاس الشعاع عنه يرى تشويهه.

– كـ – أي المرايا يرى الوجه فيها مختلف الصورة غير مشوه؟ وما علة ذلك؟

المرايا التي أشكالها مستوية الخلقة وليست مستوية البسيط رئي الوجه فيها مختلف الصورة في العظم والصغر <و>لا يرى فيها مشوهًا؛ وهذه المرايا <هي> المقببة تقبيبًا كريًا والمقعرة تقعيراً كريًا. وذلك أن أشكال هذه المرايا مستوية الخلقة لا اختلاف فيها، والوجه / يُرى فيها خارجًا عن الاعتدال في ٨٤-ظ المقدار لا في الشكل؛ لأنه يرى في بعضها أعظم من مقداره الحقيقي ويرى في بعضها أصغر من مقداره الحقيقي. ويرى في بعضها مقلوبًا وفي بعضها ذا ثلاث أعين وذا أربع أعين، إلا أن خلق هذه الصور جميعًا مستوية سليمة من المشوبة؛ وذلك لما عند سطوح هذه المرايا وخروجها عن الاختلاف في أجزائها، لأن البسيط الذي مقببًا كان أو مقعراً، أجزاؤه يطابق بعضها بعضًا للمسافة المتساوية التي بينها ولسلامتها من الاختلاف، وسنبين ذلك في الأشكال التي نأتي بها فيما نستأنف بيانًا خاصيًا إن شاء الله تعالى.

– كا – في أي صورة يرى الوجه في كل واحدة من المرايا المحدودة التي هي المسطحة والمقببة تقبيبًا كريًا والمقعرة تقعيراً كريًا؟

أما المرآة التي سطحها مستوٍ استواءً مستقصى سليمًا من التقعير والتقبيب، فإن الوجه يرى فيها في صورته الحقيقية. وأعني بقولي «صورة حقيقية» الصورة التي يُرى فيها الوجه بغير مرآة، لا زائداً عليها ولا ناقصًا عنها.

وأما المرآة المقببة تقبيبًا كريًا، فإن الوجه يرى فيها في أصغر من صورته الحقيقية التي يرى فيها بغير مرآة.

11 مقداره: مقدارها – 12 مقداره: مقدارها – 14 المشوبة: انظر ص 599 – 16 المتساوية: المسمله، قد تقرأ «المستقلة» ويستقيم بها المعنى مع التأويل، إلا أن مثل هذه العبارة لا ترد في لغة مناظر ورياضيات القرن الثالث – 18 المحدودة: المحدود – 22 زائداً: زائد.

Dans les miroirs concaves à concavité sphérique, on voit le visage plus grand que sa forme réelle, celle sous laquelle on voit le visage sans miroir[15], on le voit en plus dans les miroirs concaves sous des formes différentes si leurs distances du visage diffèrent, bien que leur concavité ne diffère pas.

Dans les miroirs convexes à convexité sphérique, sans qu'elle comporte des différences, on ne voit pas la forme du visage différente, en raison de la différence de leurs distances, si ce n'est dans sa grandeur seulement. En effet, si on voit le visage de loin, il sera vu sous une forme plus petite que la forme sous laquelle on le voit de près.

– 22 – Par quelle cause voit-on le visage dans le miroir à surface plane dans sa grandeur réelle, sans qu'il l'excède ni qu'il lui soit inférieur ?

Nous avons dit précédemment que les rayons se réfléchissent sur les corps polis vers les visibles[16] en eux. Mais puisque tout ce sur quoi tombe le rayon est vu et que les visibles qui sont vus sous un même angle ou des angles égaux sont vus égaux, que les visibles qui sont vus sous des angles inégaux sont vus inégaux, et que ceux d'entre eux qui sont vus sous un grand angle sont vus plus grands et que ceux qui sont vus sous un petit angle sont vus plus petits, alors dans le miroir dont la surface est plane et
85r dépourvue de bosse / et de creux, le visage est vu sous le même angle que celui sous lequel on voit le visage sans miroir, si sa distance à l'œil est égale à la distance à laquelle on le voit dans le miroir.

Posons pour cela un exemple géométrique pour montrer notre affirmation : Imaginons un miroir à surface plane sur la droite AB, et l'œil au point E ; le visage qui est vu dans le miroir est sur la droite CD et le rayon visuel qui sort de l'œil et se prolonge jusqu'au miroir qui est sur AB est entre les droites AE, EB, alors le triangle AEB est le cône du rayon visuel qui sort de l'œil au point E. Imaginons que le rayon soit prolongé suivant les deux droites EA, EB, il vient de lui la droite EA et la droite EB. Soit la droite AF égale à la droite AE et la droite BG égale à la droite BE. Imaginons la droite AB prolongée dans les deux directions de A et de B et marquons dans la direction de A le point K et dans la direction de B le point L. Imaginons le rayon EA se réfléchissant suivant la droite AC et le rayon EB se réfléchissant suivant la droite BD. Il est clair que l'angle EAB limité par le rayon émergeant de l'œil et par le miroir est égal à l'angle KAC limité par le rayon réfléchi et par la

[15] Voir commentaire de la proposition 24. Voir aussi les propositions 7, 16 et 19 de la *Catoptrique* attribuée à Euclide.

[16] Litt. : à partir des visibles.

وأما المرآة المقعرة تقعيراً كرياً، فإن الوجه يرى فيها في صورة أعظم من صورته الحقيقية التي يرى فيها بغير مرآة؛ ويرى له أيضًا مع ذلك في المرايا المقعرة صور مختلفة إذا اختلفت أبعادها عن الوجه، وإن كان تقعيرها غير مختلف.

وأما <المرآة> المقببة تقبيبًا كريًا لا اختلاف فيه، فإن صورة الوجه لا ترى فيها مختلفة لاختلاف أبعادها إلا في مقدارها فقط، فإنه إذا رئي الوجه فيها عن بعد رئي في صورة أصغر من الصورة التي يرى فيها عن قرب.

– كب – لأية علة يرى الوجه في المرآة المستوية السطح في مقداره الحقيقي لا زائداً عليه ولا ناقصًا عنه؟

قد قلنا فيما تقدم أن الأجرام الصقيلة تنعكس الشعاعات عن المبصرات فيها. ولأن كل ما وقع عليه الشعاع <يرى>، وأن المبصرات التي ترى بزاوية واحدة أو بزوايا متساوية ترى متساوية، والمبصرات التي ترى بزوايا مختلفة <ترى مختلفة>، وما يرى منها بزاوية عظمى يرى أعظم وما يرى منها بزاوية صغرى <يرى> أصغر، فالمرآة التي سطحها مستوٍ سليم من النتوء / والانخفاض يرى الوجه فيها من الزاوية التي يرى بها الوجه بغير مرآة، إذا ٨٥-و كان بعده عن البصر مثل البعد الذي يرى <به> في المرآة.

ولنجعل لذلك مثالاً خطوطيًا نبين به قولنا: فلنتوهم مرآة مسطحة البسيط على خط آ ب والبصر على نقطة ه، والوجه الذي في المرآة على خط جـ د، والشعاع البصري الذي يخرج من البصر وينفذ إلى المرآة التي عليها آ ب بين خطي آ ه ه ب، فيكون مثلث آ ه ب مخروط الشعاع البصري الذي خرج من البصر على ه. ولنتوهم الشعاع قد نفذ على استقامة خطي ه آ ه ب، فصار منه خط ه آ وخط ه ب. وليكن <خط> آ و مساويًا لخط آ ه وخطُّ ب ز مساويًا لخط ب ه. ولنتوهم خط آ ب قد خرج على استقامة في جهتي آ ب، ولنتعلم عليه في جهة آ علامة كـ وفي جهة ب علامة ل، ولنتوهم شعاع ه آ منعكسًا على خط آ جـ وشعاعَ ه ب منعكسًا على خط ب د. فظاهر أن زاوية ه آ ب التي يحيط بها الشعاع المنبث من العين مع المرآة مساوية لزاوية كـ آ جـ التي يحيط بها الشعاع المنعكس مع السطح الذي عنه انعكس.

3 صور: صورا / وإن: فان – 9 السطح في: في السطح – 19 نقطة: نقط – 20 التي عليها: الذي عليه – 26 آ جـ: آ ح جـ – 28 كـ آ جـ: ط كـ آ جـ.

surface sur laquelle il s'est réfléchi. De même, l'angle *ABE* limité par le rayon émergeant de l'œil et par le miroir est égal à l'angle *DBL* limité par le rayon réfléchi sur le miroir et par la surface du miroir, si elle est prolongée. Si nous prolongeons les deux droites *CA* et *DB* jusqu'à ce qu'elles se rencontrent au point *M* et si nous menons par ce point une droite parallèle à la droite *CD*, elle rencontre les deux points *F* et *G*[17] ; et elle sera égale à la droite *CD*. Le visage qui est sur *CD* est vu dans le miroir sous l'angle *AEB*, il est vu à partir du même miroir[18] sous l'angle *CMD*, suivant la droite *CD*. Il est vu également sous l'angle *AEB* lui-même, suivant la droite *FG*. Les deux droites sont égales, c'est-à-dire la droite *CD* et la droite *FG*, et les deux angles sont égaux, c'est-à-dire l'angle *FEG* et l'angle *CMD*. Si donc le visage est vu dans un miroir *AB* à surface plane, il est vu de la même grandeur que sans miroir, sans l'excéder ni lui être inférieur, si la distance du miroir à l'œil est égale à la distance du miroir au visage.

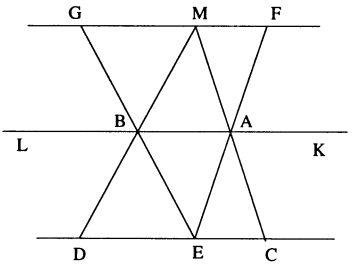


Fig. 5

– 23 – Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir
85v convexe / inférieure à sa grandeur réelle ?[19]

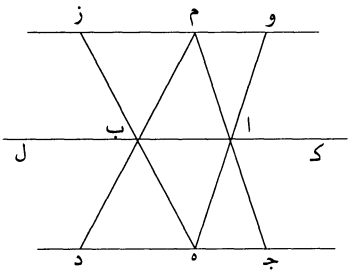
Comme le miroir réfléchit le rayon visuel sur le visage visible en lui, suivant des angles égaux, ainsi que nous l'avons montré précédemment, comme la forme du visage est vue dans le miroir sous l'angle du rayon qui émane de l'œil au miroir, et comme le rayon, quand il rencontre la surface convexe, se réfléchit sur elle suivant un angle plus resserré que l'angle suivant lequel il se réfléchit, s'il se réfléchit sur une surface plane polie, on doit nécessairement voir la forme du visage dans le miroir convexe à convexité sphérique sous une forme plus petite que celle suivant laquelle on voit le visage dans le miroir à surface plane, car le

[17] Ceci suppose que le segment *CD* est parallèle à la droite *AB*, ce qui n'a pas été précisé.

[18] Il s'agit pour nous de l'image virtuelle de l'œil dans le miroir.

[19] Voir la proposition 21 de la *Catoptrique* attribuée à Euclide. Ici comme dans ce dernier livre, on utilise la propriété du miroir plan : l'objet est vu en grandeur réelle.

وكذلك تكون أيضًا زاوية ا ب ه التي يحيط بها الشعاع المنبث من العين مع المرآة مساوية لزاوية د ب ل التي يحيط ‹بها› الشعاع المنعكس عن المرآة مع سطح المرآة إذا أخرج على استقامة. وإذا أخرجنا خطي جـ ا د ب على استقامة حتى يلتقيا على نقطة م، وأخرجنا عليها خطًا موازيًا لخط جـ د، لقي نقطتي و ز وصار مساويًا لخط جـ د؛ فيكون الوجه الذي يُرى في المرآة على جـ د بزاوية ا ه ب ‹و› يُرى من عين المرآة بزاوية جـ م د على خط جـ د؛ ويرى أيضًا بزاوية ا ه ب بعينها على خط و ز. والخطان متساويان، أعني خط جـ د وخط و ز، والزاويتان متساويتان، أعني زاوية و ه ز وزاوية جـ م د. فالوجه إذاً يُرى في مرآة ا ب المستوية السطح في المقدار الذي يُرى به بغير مرآة، لا زائداً عليه ولا ناقصًا عنه، إذا كان بعده عن البصر مثل بعد المرآة عن الوجه.



– كجـ – لأية علة تُرى صورة الوجه في المرآة المقببة في / أصغر من مقدارها الحقيقي؟ ٨٥-ظ

لما كانت المرآة تعكس الشعاع البصري على الوجه المبصر فيها على زوايا متساوية كما بينا فيما تقدم، وكانت صورة الوجه ترى في المرآة بزاوية الشعاع الذي يخرج من البصر إليها، وكان الشعاع إذا لقي البسيط المقبب انعكس عنه على زاوية أضيق من الزاوية التي ينعكس عليها إذا انعكس عن البسيط المسطح الصقيل، وجب ضرورة أن ترى صورة الوجه في المرآة المقببة تقبيبًا كريًا في أصغر من الصورة التي ترى فيها في المرآة

1 وكذلك: ولذلك – 4 يلتقيا: يلتقيان – 13 مقدارها: مقداره.

rayon visuel se réfléchit sur lui en s'élargissant, et donc le rayon qui rencontre le miroir convexe limite avec lui un angle plus petit que l'angle qu'il limite avec le miroir à surface plane. C'est pourquoi il limite aussi dans sa réflexion sur le miroir convexe avec la surface du miroir un angle plus petit que l'angle qu'il limite, s'il se réfléchit sur le miroir plan, avec la surface de celui-ci. Et alors le rayon réfléchi sera <plus> dispersé et tombe donc sur un intervalle plus grand que celle du visage, et par conséquent l'angle du rayon sous lequel on voit le visage dans le miroir convexe est plus petit que l'angle sous lequel on voit le visage dans le miroir à surface plane. Ceci peut être montré par les lignes géométriques d'une manière claire.

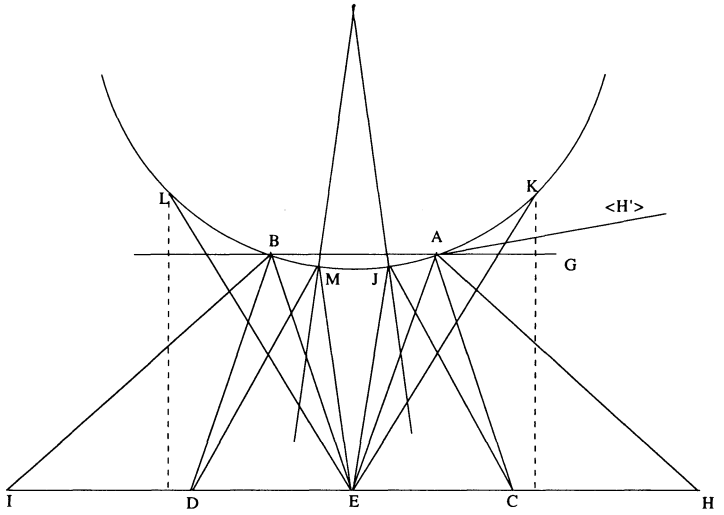
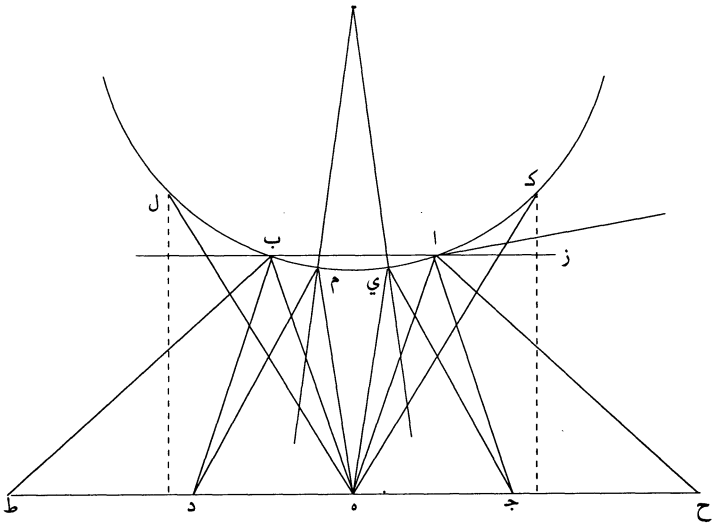


Fig. 6

Imaginons pour cette construction un miroir plan AB, l'œil au point E, le visage visible sur la droite CD et le rayon visuel qui sort de l'œil vers le miroir plan qui est sur la droite AB, sous la forme du cône AEB ; le cône se réfléchit sur le miroir vers le visage visible entre les deux droites AC et BD, le visage qui est sur la droite CD sera vu sous l'angle AEB dans sa forme réelle sous laquelle il est vu sans miroir, comme nous l'avons montré au chapitre précédent.

المستوية السطح ، لأن الشعاع البصري ينعكس عنها متسعًا ، فيكون الشعاع الذي يلقى المرآة ‹المقببة› يحيط معها بزاوية أصغر من الزاوية التي يحيط بها مع المرآة المستوية الوجه. ولذلك أيضًا يحيط في انعكاسه عن المرآة المقببة مع بسيط المرآة بزاوية أصغر من الزاوية التي يحيط بها إذا انعكس عن المرآة المسطحة مع سطحها . فيكون الشعاع المنعكس منتشراً فيقع على أكثر من مسافة الوجه، فتكون زاوية الشعاع الذي يبصر به الوجه في المرآة المقببة أصغر من الزاوية التي يرى بها الوجه في المرآة المستوية السطح . وذلك يتبين بالخطوط الهندسية بيانًا واضحًا .



لهذا العمل، نتوهم مرآة مسطحة عليها $\overline{\text{ا ب}}$ والبصر على نقطة ه والوجه المبصر على خط $\overline{\text{جـ د}}$. والشعاع البصري يخرج من البصر إلى المرآة المستوية التي على خط $\overline{\text{ا ب}}$ في صورة مخروط ا ه ب، وينعكس على المرآة إلى الوجه المبصر بين خطي $\overline{\text{ا جـ}}$ ب $\overline{\text{د}}$ ، ويُرى الوجه الذي على خط $\overline{\text{جـ د}}$ بزاوية $\overline{\text{ا ه ب}}$ في صورته الحقيقية التي يُرى بها بغير مرآة كما بينا في الباب الذي قبل هذا .

7 المقببة : المسطحة – 12 $\overline{\text{جـ د}}$: $\overline{\text{حـ ب}}$ / $\overline{\text{ا ه ب}}$: $\overline{\text{ا ه جـ}}$ – 13 بها : ففيها .

Nous imaginons également un miroir convexe à convexité sphérique, sur la droite *AB* ; que sa convexité soit l'arc *KABL* qui est l'arc de son gabarit qui rectifie la surface convexe du miroir. Soit le rayon émergeant de l'œil vers ce miroir, le cône *AEB*. Il est clair qu'il rencontre la surface convexe suivant l'angle *EAJ* limité par le rayon *AE* et l'arc *AJ*. Mais l'angle *EAJ* est plus petit que l'angle *EAB*, par conséquent le rayon *EA* se réfléchit sur le miroir *KABL* suivant un angle plus petit que l'angle *CAG* sur lequel il s'est réfléchi lors de sa réflexion sur le miroir plan, car il se
86r réfléchit suivant un angle égal à l'angle *EAJ*. Le rayon / réfléchi sur le miroir *KABL* convexe tombe par conséquent au delà du point *C*, se réfléchissant ainsi suivant un angle *HAK*. Que le rayon *EB* se réfléchisse également suivant un angle plus petit que l'angle *DBF*, soit l'angle *LBI*. On voit donc dans le miroir *AJMB* convexe sous l'angle *AEB* la distance *HEDI*. Or cette distance est plus grande que la grandeur du visage que nous avons supposé sur *CD*. Par conséquent, le visage qui est sur *CD* qui était vu dans le miroir plan sous l'angle *AEB* est vu dans le miroir *AJMB* convexe sous un angle plus petit que l'angle *AEB*, et égal à l'angle *JEM*[20]. Le rayon émergeant de l'œil qui est en *E* entre les deux droites *EJ* et *EM* se réfléchit suivant les deux droites *JC* et *MD*. Or nous avons montré que les visibles qui sont vus sous un angle plus petit sont vus plus petits ; le visage qui est sur *CD* est vu par conséquent dans le miroir plan *AB* sous une forme plus grande que la forme sous laquelle il est vu dans le miroir *AJB* convexe. Mais la forme du visage est vue dans le miroir à surface plane en grandeur réelle, par conséquent la forme du visage est vue dans le miroir convexe sous une forme plus petite que sa vraie grandeur.

- 24 - Par quelle cause voit-on la forme du visage dans le miroir concave d'une grandeur supérieure à celle de sa grandeur réelle ?

On voit la forme du visage dans le miroir concave, à concavité sphérique, d'une grandeur supérieure à celle de sa grandeur réelle, car le rayon par lequel on voit le visage dans celui-ci limite un angle plus grand que l'angle sous lequel on voit le visage sous sa forme réelle. L'angle sous lequel on voit le visage sous sa forme réelle est l'angle sous lequel on le voit dans le miroir à surface plane. Il nous faut donc montrer que l'angle

[20] L'auteur n'indique pas la construction des points *J* et *M* (voir introduction).

ولنتوهم أيضًا مرآة مقببة تقبيبًا كريًا على خط ا ب، وليكن تقببها قوس ك ا ب ل، وهي قوس مسطرتها التي يُقَوم بها بسيطها المقبب. وليكن الشعاع المنبث إليها من البصر مخروط ا ه ب. فظاهر أنه يلقى البسيط المقبب على زاوية ه ا ي التي يحيط بها شعاع ا ه وقوس ا ي. وزاوية ه ا ي أصغر من زاوية ه ا ب، فشعاع ه ا إذن ينعكس على مرآة ك ا ب ل على زاوية أصغر من زاوية جـ ا ز التي انعكس عليها عند انعكاسه عن المرآة المستوية، لأنه ينعكس على زاوية مساوية لزاوية ه ا ي. فالشعاع إذن / المنعكس من مرآة ك ا ب ل المقببة يقع خارج علامة جـ؛ فلينعكس على زاوية ٨٦-و ح ا ك، ولينعكس أيضًا شعاع ه ب على زاوية أصغر من زاوية د ب و وهي زاوية ل ب ط. فيرى في مرآة ا ي م ب المقببة بزاوية ا ه ب مسافة ح ه د ط. وهذه المسافة أعظم من مقدار الوجه الذي فرضناه على جـ د. فإذاً الوجه الذي على جـ د - الذي كان يرى في المرآة المستوية بزاوية ا ه ب - <يُرى> في مرآة ا ي م ب المقببة بزاوية أصغر من زاوية ا ه ب مثل زاوية ي ه م. فالشعاع الذي ينبعث من البصر الذي على ه بين خطي ه ي ه م ينعكس على خطي ي جـ م د. وقد كنا بينا أن المبصرات التي تُرى بزاوية أصغر ترى أصغر، فالوجه إذن - الذي على جـ د - يرى في مرآة ا ب المستوية في صورة أعظم من الصورة التي يرى بها في مرآة ا ي ب المقببة. ولكن صورة الوجه ترى في المرآة المستوية السطح في مقدارها الحقيقي، فصورة الوجه إذاً ترى في المرآة المقببة في أصغر من مقدارها الحقيقي.

- كذ - لأية علة ترى صورة الوجه في المرآة المقعرة في أعظم من مقدارها الحقيقي؟

صورة الوجه تُرى في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا في أعظم من مقدارها الحقيقي، لأن الشعاع الذي يُبصر به الوجه فيها يحيط بزاوية أعظم من الزاوية التي يُرى بها الوجه في صورته الحقيقية. والزاوية التي يرى بها الوجه في صورته الحقيقية هي التي يُرى بها في المرآة المسطحة تسطيحًا مستويًا.

7 ه ا ي: ح ا ي - 8 ك ا ب ل: ا ى ر ب - 9 ح ا ك: ا ح ب / ه ب: ر د - 10 ح ه د ط: ح ه ر ط - 11 جـ د: جـ ه - 12 جـ د: جـ ه / ا ه ب: ا ه ز - 14 ينبعث: يأخذ قسطا في مثل هذا الموضع بفعل «ينبث» (انظر أيضًا الكندي ص 163 وما بعدها)، ربما اشتبه الأمر على الناسخ في هذا الموضع وفي موضعين آخرين / ينعكس: وينعكس - وقد كنا: وقد كنا قد.

sous lequel on voit le visage dans le miroir concave à concavité sphérique est plus grand que l'angle sous lequel on voit le visage dans le miroir à surface plane, et ceci se montre par cette construction.

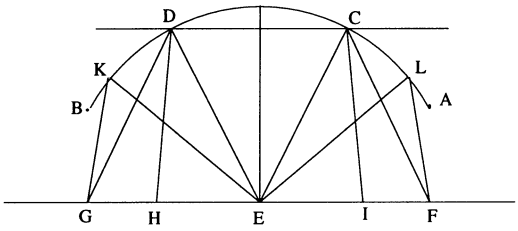
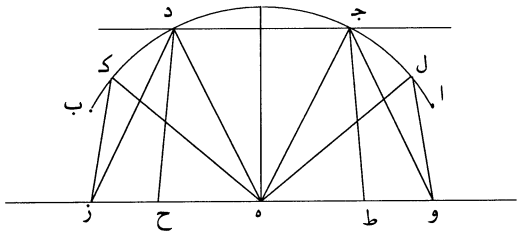


Fig. 7

Imaginons un miroir concave à concavité sphérique sur lequel il y a *A* et *B*, l'arc *AB* le gabarit par lequel on rectifie la face du miroir et qui est un arc, <partie> d'un demi-cercle qui engendre la surface sphérique ; que l'œil soit au point *E*. Imaginons un miroir à surface plane sur la droite *CD*. Menons de l'œil qui est en *E* un rayon visuel qui rencontre le miroir
86v plan qui est sur la droite *CD* sous la forme / d'un cône limité par les deux côtés *EC* et *ED*. Que le visage vu dans le miroir soit sur la droite *FG*, que le rayon visuel se réfléchisse sur le miroir plan *CD* suivant des angles égaux, que sa réflexion soit suivant les droites *CF* et *DG* ; on voit donc le visage sous l'angle *CED* et le rayon réfléchi sur le miroir plan est le rayon limité par les droites *FC*, *CD*, *DG*. Mais nous avons montré précédemment que le rayon se réfléchit suivant des angles égaux, c'est-à-dire que l'angle limité par le rayon émergeant de l'œil et la surface du miroir est égal à l'angle limité par le miroir et le rayon réfléchi. Mais l'angle limité par le rayon émergeant de l'œil et par la surface du miroir concave qui est l'angle limité par la droite *EC* et par l'arc *CD* est plus grand que l'angle *ECD* limité par le rayon émanant de l'œil et par la surface du miroir plan. Le rayon émergeant vers le miroir concave doit donc se réfléchir suivant un angle plus grand que l'angle suivant lequel se réfléchit le rayon réfléchi sur le miroir plan, c'est-à-dire un angle égal à l'angle limité par la droite *EC* et par l'arc *CD* ; que cet angle soit celui limité par l'arc *AC* et la droite *CI* ; le point *I* se trouve par conséquent

فنحتاج أن نبين أن الزاوية التي يرى بها الوجه في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا أعظم من الزاوية التي يرى بها في المرآة المسطحة تسطيحًا مستويًا، وذلك يُبين بهذا العمل.



نتوهم مرآة مقعرة تقعيراً كريًا عليها آ ب، وقوس آ ب المسطرة التي يقوم بها وجه المرآة، وهي قوس من نصف الدائرة التي يحدث عنها البسيط الكري، وليكن البصر على نقطة ه. ولنتوهم مرآة مستوية السطح على خط ج د، ولنخرج من البصر الذي على ه شعاعًا بصريًا يلقى المرآة المستوية التي على خط ج د في صورة / مخروط يحيط به ضلعا ه ج ه د. وليكن الوجه ٨٦-ظ المبصر في المرآة على خط و ز، ولينعكس الشعاع البصري عن مرآة ج د المستوية على زوايا متساوية، وليكن انعكاسه على خطي ج و د ز، فيرى الوجه بزاوية ج ه د، والشعاعُ الذي ينعكس عليه وهو الشعاع الذي تحيط به خطوط و ج ج د د ز. وقد كنا بينا فيما تقدم أن الشعاع ينعكس على زوايا متساوية، أعني أن الزاوية التي يحيط بها الشعاع المنبث من البصر مع سطح المرآة مساوية للزاوية التي تحيط بها المرآة مع الشعاع المنعكس. والزاوية التي يحيط بها الشعاع المنبث من البصر مع سطح المرآة المقعرة - وهي الزاوية التي يحيط بها خط ه ج مع قوس ج د - هي أعظم من زاوية ه ج د التي يحيط بها الشعاع المنبث مع سطح المرآة المستوية. والشعاع المنبث إلى المرآة المقعرة إذاً يحتاج أن ينعكس على زاوية أعظم من الزاوية التي انعكس عنها الشعاع المنعكس عن المرآة المسطحة، أعني زاوية مساوية للزاوية التي يحيط بها خط ه ج مع قوس ج د، ولتكن هذه الزاوية <هي الزاوية> التي يحيط بها قوس آ ج مع خط ج ط، فنقطة ط إذاً تقع بين

2 بها: كتب بعدها «الوجه»، ثم ضرب عليها بالقلم - 11 ج ه د: ج د ه - 13 المنبث: المثلث - 16 هي (الثانية): وهي - 17 ه ج د: ج د.

entre les deux points *F* et *E*[21]. De même, de l'autre côté également, le rayon *ED* se réfléchit sur une droite qui se trouve entre les deux droites *ED* et *DG* comme la droite *DH*, et le point *H* se trouve entre les deux points *E* et *G*. La distance qui est vue dans le miroir concave *ACDB* sous l'angle *CED* est la distance *IH* qui est plus petite que la distance *FG* sur laquelle nous avons supposé le visage vu dans le miroir concave. Ainsi ce qu'on voit dans le miroir concave sous l'angle suivant lequel on voit le visage entier dans le miroir plan est une partie du visage qui est sur *FG*. Pour voir le visage en entier dans le miroir concave, il faut que de l'œil sorte vers le miroir un rayon limité par un angle plus grand que l'angle limité par le rayon qui sort de l'œil vers le miroir à surface plane, comme l'angle *LEK*[22], pour que le rayon *EL* se réfléchisse suivant *LF* et que le rayon *EK* se réfléchisse suivant *KG*. On voit donc le visage qui est
87r sur *FG* dans le miroir concave *AB* / sous un angle plus grand que l'angle sous lequel on le voyait dans le miroir plan. Mais nous avons montré précédemment que le visage est vu sous le miroir plan dans sa forme réelle sous laquelle il est vu sans miroir, par conséquent le visage est vu dans le miroir concave sous une forme plus grande que sa forme réelle.

- 25 – Par quelle cause voit-on le visage dans le miroir convexe à convexité sphérique de plus en plus petit ? et à mesure que croît la distance du miroir par rapport au visage pourquoi continue-t-il à diminuer jusqu'à ce qu'il ne soit plus vu du tout ?

La cause par laquelle on voit le visage de plus en plus petit dans le miroir convexe à mesure que sa distance croît est la cause commune pour tous les visibles qui sont vus sans miroir si leur distance à l'œil croît. En effet, tout visible, s'il s'éloigne de l'œil, est vu sous une forme plus petite que la forme sous laquelle il est vu s'il est plus près de l'œil, tant qu'il n'y a pas entre lui et l'œil une humidité vaporeuse ou de l'eau ou autres choses qui font disperser et élargir le rayon visuel. Si ce n'est que pour le miroir convexe, s'il s'éloigne du visage, celui-ci apparaît, sous sa forme, beaucoup plus petit qu'il n'apparaît dans le miroir plan ; c'est ce qui appartient au miroir convexe pour la dispersion du rayon quand il se réfléchit sur lui.

Posons pour cela un exemple géométrique pour montrer d'une manière claire ce que nous avons dit. Imaginons un miroir convexe sur lequel il y a *A*, *B* ; l'arc *AB* est le gabarit par lequel on a rectifié sa surface pour

---

[21] Dans cet exemple, on suppose *E* entre le miroir concave *CD* et le centre *O* de la surface sphérique, la droite *EC* fait alors un angle aigu avec l'arc *CD*. Cette hypothèse sera gardée dans la proposition 26 ; l'auteur examine ce qui se passe quand l'œil *E* est au delà du centre *O*, dans les propositions 30 et 32.

[22] L'auteur n'indique pas la construction des points *L* et *K* (voir introduction).

نقطتي و ه. وكذلك أيضًا في الجهة الأخرى ينعكس شعاع ه د على خط يقع بين خطي ه د د ز مثل خط د ح، وتكون نقطة ح تقع بين نقطتي ه ز. فيكون البعد الذي ‹يرى› في مرآة ا ج د ب المقعرة بزاوية ج ه د بُعدَ ط ح، وهو أقلّ من بعد و ز الذي فرضنا الوجه المبصر في المرآة المقعرة عليه؛ فيكون ما يرى في المرآة المقعرة بالزاوية التي يرى بها الوجه كله في المرآة المستوية بعض الوجه الذي على و ز. ولأنْ يرى الوجه كله في المرآة المقعرة يحتاج أن يخرج إليها من البصر [على] شعاع يحيط بزاوية أعظم من الزاوية التي يحيط بها الشعاع الذي خرج من ‹البصر إلى› المرآة المستوية السطح - مثل زاوية ل ه ك - حتى ينعكس شعاع ه ل على ل و وشعاع ه ك ‹على ك ز›؛ فيرى الوجه الذي على و ز في مرآة ا ب المقعرة / بزاوية أعظم من ٨٧-و الزاوية التي كان يرى بها في المستوية. وكنا بينا فيما تقدم أن الوجه يرى في المرآة المستوية في صورته الحقيقية التي يرى فيها بغير مرآة. فالوجه إذاً يرى في المرآة المقعرة في صورة أعظم من صورته الحقيقية.

- كه - لأية علة يرى الوجه في المرآة المقببة تقببيًا كريًا متزيد الصغر كلما زاد بعد المرآة عن الوجه، ولا يزال صغره يتزيد إلى ألاّ يرى البتّة؟

العلة التي لها يرى الوجه متزيد الصغر في المرآة المقببة كلما زاد بعدها هي العلة المشتركة لجميع المبصرات التي ترى بغير مرآة إذا زاد بعدها عن البصر. فإن كل مبصر إذا بعد عن البصر رئي في صورة أصغر من الصورة التي يرى فيها إذا كان أقرب إلى البصر، ما لم يكن بينه وبين البصر رطوبة بخارية أو ماء أو غير ذلك من الأشياء التي يُنشر بها الشعاع البصري ويتسع. إلا أن المرآة المقببة إذا بعدت عن الوجه ظهر في صورته من الصغر أكثر مما يظهر في المرآة المستوية. [وذلك إما يلحق المرآة المستوية] وذلك إنما يلحق المرآة المقببة من انتشار الشعاع عند انعكاسه عنها.

ولنجعل لذلك مثالاً خطوطيًا نبين به ما قلنا بيانًا واضحًا. فنتوهم مرآة مقببة عليها آ ب، وقوس ا ب مسطرتها التي يقوم بها وجهها حتى يُسوَّى

9 ه ك: ه ك ر - 15 صغره: صغر - 22 [وذلك ... المستوية]: تبدو هذه الجملة تكراراً مع التحريف لآخر العبارة السابقة وبداية العبارة اللاحقة. ولن يستقيم المعنى ولا اللغة بها؛ فالكلام هنا على خاصية المرآة المقببة لا المرآة المستوية إلا إذا افترضنا نقصًا في النص. ولكن ليس هناك ما يبرر مثل هذا الافتراض.

que sa convexité devienne régulière et qu'elle devienne parfaitement sphérique. Que l'œil soit au point *E* ; menons-en le rayon visuel vers le miroir *AB* entre les deux droites *AE* et *BE* ; que le visage vu dans le miroir *AB* soit sur la droite *SX*, donc le rayon *EA* se réfléchit suivant un angle égal à l'angle limité par le rayon *EA* et l'arc *AB* ; que sa réflexion soit sur la droite *AS* et la réflexion du rayon *EB* sur la droite *BX*, le visage sera donc vu sur *SX* dans le miroir *AB* sous l'angle *AEB*[23]. Supposons que le visage qui était sur *SX* s'éloigne du miroir pour qu'il soit sur *UU'* et que l'œil soit au point *F*. Le rayon visuel qui va du point *F* au miroir *AB* est entre les deux droites *AF* et *FB* et le rayon réfléchi sur le miroir par lequel on voit le visage sur la droite *UU'* se réfléchit suivant un angle égal[24] à l'angle *FAB* ; que sa réflexion soit sur la droite *AU* pour que l'angle *CAU* soit égal à l'angle *BAF*. De même, de l'autre côté
87v également, la réflexion de *FB* sera suivant *BU'* pour que / l'angle *DBU'* soit égal à l'angle *FBA*. Ainsi le visage qui est sur *UU'* est vu dans le miroir *AB* sous l'angle *AFB*; mais l'angle *AFB* est plus petit que l'angle *AEB* et le visible qui est vu sous un angle plus petit est vu plus petit. Le visage qui est sur *UU'* est vu sous une forme plus petite que la forme sous laquelle il était vu quand il était sur *SX*. De même, si nous éloignons également le visage à une plus grande distance du miroir *AB* pour le placer sur *II'*, et que l'œil soit en *G* et le rayon visuel entre les deux

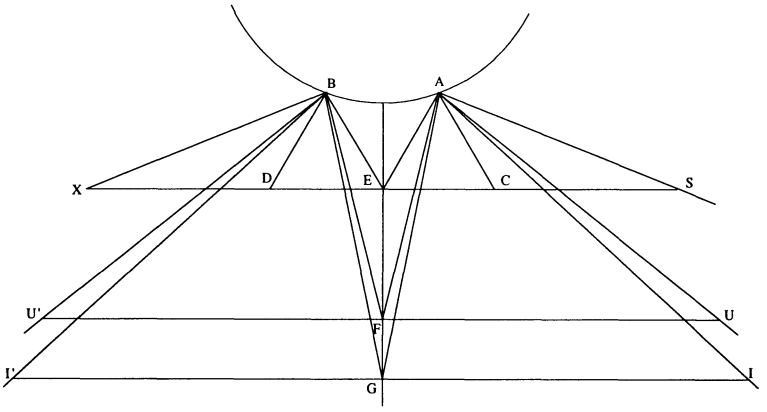
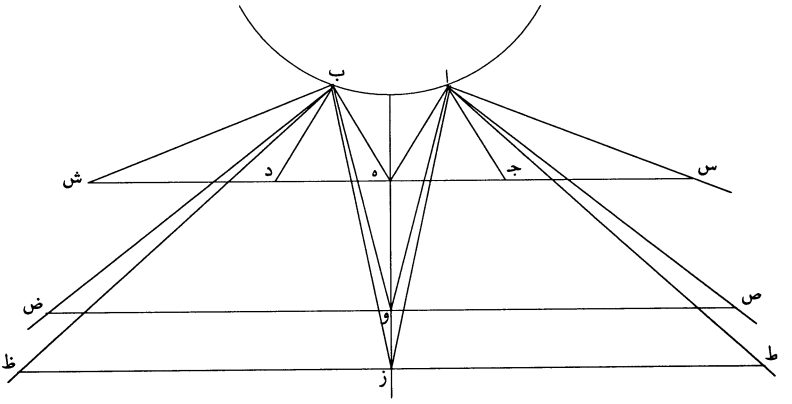


Fig. 8

[23] Voir introduction.

[24] Ici l'auteur considère la réflexion du rayon *FA* qui limite le cône.

تقبيبه ويكون كريًا صحيحًا. وليكن البصر على نقطة هـ، ولنخرج منها الشعاع البصري إلى مرآة ا ب بين خطي ا هـ ب هـ، وليكن الوجه المبصر في مرآة ا ب على خط س ش، فشعاع هـ ا ينعكس على زاوية مساوية للزاوية التي يحيط بها شعاع هـ ا مع قوس ا ب، وليكن انعكاسه على خط ا س، ويكون انعكاس شعاع هـ ب على خط ب ش، فيرى الوجه على س ش في مرآة ا ب بزاوية ا هـ ب. وننزل أن الوجه الذي كان على س ش بَعُد عن المرآة حتى صار على ص ض وصار البصر على نقطة وَ. والشعاع البصري الذي يخرج منه إلى مرآة ا ب بين خطي ا وَ وَ ب، والشعاع المنعكس عن المرآة الذي يُرى به الوجه على خط ص ض ينعكس على زاوية مساوية لزاوية و ا ب، فليكن انعكاسه على خط ا ص حتى تكون زاوية جـ ا ص مساوية لزاوية ب ا و. وكذلك أيضًا في الجهة الأخرى يكون انعكاس ‹و ب› على ب ض حتى تكون / زاوية د ب ض مساوية لزاوية و ب ا؛ فيكون الوجه ٨٧-ظ
الذي على ص ض يُرى في مرآة ا ب بزاوية ا و ب، ولكن زاوية ا و ب أصغر من زاوية ا هـ ب، والمبصر الذي يرى بزاوية أصغر يرى أصغر. والوجه الذي على ص ض يرى في صورة أصغر من الصورة التي كان يرى فيها لما كان على س ش. وكذلك أيضًا إن باعدنا الوجه من مرآة ا ب بعداً أكثرَ حتى نجعله على ط ظ ويكون البصر على زَ والشعاع البصري بين خطي ا ز ز ب، ‹يرى



2 ا هـ: ا ب – 3 زاوية: زوايا – 6 ا هـ ب: هـ ا ب – 7 البصر: البعض – 11 ب ا و: ب ا هـ / وكذلك: ولذلك – 12 ب ض: ر ص / د ب ض: ط ب ض – 16 وكذلك: ولذلك – 17 ز ب: د ب.

droites *AG* et *GB*, alors le visage sera vu sous une forme plus petite que la forme sous laquelle il a été vu quand il était sur *UU'*, car le rayon *GA* se réfléchit suivant *AI* et l'angle *AGB* est de beaucoup inférieur à l'angle *AFB*. De même, l'angle sous lequel est vu le visage dans le miroir *AB* continue à décroître jusqu'à ce qu'il soit extrêmement resserré et le visage ne sera plus du tout vu dans le miroir *AB*. Mais comme le visage dans chacune des positions dans laquelle il est placé éloigné du miroir est vu sous une forme plus petite que la forme sous laquelle il est vu dans le miroir plan, à plus forte raison l'image du visage disparaît dans ce miroir avant sa disparition dans le miroir plan.

– 26 – Par quelle cause voit-on le visage dans le miroir concave à concavité sphérique, de plus en plus grand ? et à mesure que le miroir s'éloigne du visage pourquoi sa grandeur croît-elle jusqu'à une certaine distance déterminée et quelle est cette distance?

La cause par laquelle on voit le visage dans le miroir concave d'une grandeur croissante à mesure qu'il s'éloigne du visage est la cause que nous avons évoquée précédemment, quand nous avons évoqué la cause par laquelle la forme du visage dans le miroir concave à concavité sphérique est vue plus grande que celle que l'on voit dans le miroir à surface plane et qui est que la réflexion du rayon sur une surface concave est plus concentrée et n'a pas d'extension comme celle du réfléchi sur la surface convexe, ni d'extension comme celle du réfléchi sur la surface plane[25]. En effet, le rayon réfléchi sur la surface concave à mesure que l'œil s'éloigne de cette surface a une réflexion de plus en plus concentrée jusqu'à ce qu'il parvienne à un état où il se réfléchit sur lui-même, et que sa réflexion ne nous montre aucune étendue. Nous allons établir cela par une figure
88r géométrique dans laquelle apparaît / clairement ce que nous avons dit.

Imaginons un miroir concave à concavité sphérique sur lequel il y a *Q*, *A*, *B*, *P*. Que cet arc soit une partie du cercle à partir duquel a été engendrée la surface de sa sphère, et soit l'arc par lequel a été rectifiée sa surface pour qu'elle soit une portion de surface sphérique. Que l'œil soit au point *E*, que le visage visible dans le miroir soit sur la droite *SX* et que le centre de la sphère dont le miroir *AB* est une portion de la surface soit le point *O* ; supposons entre le point *O* et l'arc *AB* autant qu'on veut de points sur une seule direction, qui sont les points *E*, *F*, *G*. Menons par eux des droites parallèles et parallèles à la droite *SX* qui sont la droite *UU'* et la droite *II'*, chacune d'elles étant égale à la droite *SX*. Les points *E*, *F*, *G* sont donc les positions de l'œil et les droites *SX*, *UU'* et *II'* sont des

[25] Litt.: n'est pas comme l'extension du réfléchi.

الوجه> في صورة أصغر من الصورة التي كان يرى بها لما كان على ص ض، لأن الشعاع ز آ ينعكس على آ ط وتنقص زاوية آ ز ب عن زاوية آ و ب نقصانًا كثيراً. وكذلك لا تزال الزاوية التي يرى بها الوجه في مرآة آ ب تزداد صغراً حتى تضيق جداً فلا يرى الوجه في مرآة آ ب البتّة. ولما كان الوجه في كل وضع يوضع من إبعاده عن المرآة يرى في صورة أصغر من الصورة التي يُرى بها في المرآة المستوية، كان أحرى بأن تخفى صورة الوجه فيها قبل خفْيتها في المرآة المستوية.

– كو – لأية علة يُرى الوجه في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا متزيد العظم؟ <و>كلما بعدت المرآة عن الوجه يتزيد عظمه إلى بعد ما محدود؟ <و>كم ذلك البعد؟

العلة التي يُرى بها الوجه في المرآة المقعرة متزيد العظم كلما بعدت عن الوجه هي العلة التي ذكرناها فيما تقدم عند ذكر العلة التي لها ترى صورة الوجه في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا أعظم مما ترى في المرآة المسطحة تسطيحًا مستويًا، وهي انعكاس الشعاع عن البسيط المقعر مجتمعًا ليس كانبساط المنعكس عن البسيط المقبب ولا كانبساط المنعكس عن البسيط المسطح. وذلك أن الشعاع المنعكس عن البسيط المقعر كلما بعد البصر عنه كان انعكاسه أكثر اجتماعًا حتى يصير إلى حال ينعكس على ذاته ولا يتبين لانعكاسه انبساط البتّة؛ ونحن مثبتون ذلك بشكل خطوطي يظهر فيه / ما ٨٨-و قلنا ظهوراً بينًا.

فلنتوهم مرآة مقعرة تقعيراً كريًا عليها ق آ ب <ف>، ولتكن هذه القوس من الدائرة التي حدث عنها بسيط كرتها وبها قوم وجهها حتى صار قطعة من بسيط كري، وليكن البصر على نقطة ه والوجه المبصر في المرآة على خط س ش، وليكن مركز الكرة التي مرآة آ ب قطعة من بسيطها نقطة ع، ولنفرض بين نقطة ع وبين قوس آ ب نقطًا على سمت واحد كم شئنا وهي نقط ه و ز، ولنخرج عليها خطوطًا متوازية <و>موازية لخط س ش، وهي خط ص ض وخط ط ظ وكل واحد منها مساوٍ لخط س ش. فتكون نقط ه و ز مواضع البصر، وتكون خطوط س ش ص ض ط ظ أوضاعًا للوجه المبصر

2 ز آ: ب آ / آ ط: ر ط – 3 وكذلك: ولذلك – 11 بعدت: بعد – 16 المقعر: المقبب – 26 خط (الأولى): خطوط.

positions du visage visible dans le miroir *AB*. Que le rayon mené de l'œil, qui est en *E*, au miroir *AB* soit entre les deux droites *AE* et *EB* ; le rayon mené de l'œil, qui est au <point> *F*, est entre les deux droites *AF* et *FB*, et le rayon mené de l'œil, qui est au point *G*, est entre les deux droites *AG* et *GB*. L'œil qui est au <point> *E* voit le miroir *AB* sous l'angle *AEB*, l'œil qui est au <point> *F* voit le miroir *AB* sous l'angle *AFB* et l'œil qui est au <point> *G* voit le miroir *AB* sous l'angle *AGB*. Que le rayon qui est suivant *EA* se réfléchisse sur le miroir *AB* suivant un angle égal à l'angle *EAB*, qu'il se réfléchisse sur la droite *AS*, et que le rayon qui est suivant *FA* se réfléchisse suivant un angle égal à l'angle *FAB* ; mais l'angle *FAB* est plus grand que l'angle *EAB*, le rayon *FA* se réfléchit par conséquent suivant un angle plus grand que l'angle *QAS* ; qu'il se réfléchisse suivant l'angle *QAK*, que l'angle *QAK* soit égal à l'angle *FAB*, le point *K* se trouve donc entre les deux points *U* et *F*. L'angle *FAK* est donc plus étroit que l'angle *FAS*. De même, de l'autre côté également, l'angle *FBL* est plus étroit que l'angle *FBX*, la partie du visage sur *UU'* vue dans le miroir *AB* est donc de la grandeur *KL* et on voit sous l'angle *AFB* la partie du visage qui est sur *KL*. De même, ce qu'on voit également du visage est encore moindre si le visage est sur la droite *II'* car le rayon réfléchi sur le miroir est entre les deux droites *AH* et *JB*, étant donné que l'angle *QAH*[26] est égal à l'angle *PBJ*. La réflexion
88v continue jusqu'à ce que l'œil soit au point *O*. S'il vient au point *O*, / sa réflexion se fait sur elle-même[27], car la droite *AO* est un demi-diamètre et l'angle *QAO* est égal à l'angle *OAB*. De même, l'angle *OBA* est égal à l'angle *OBP*, le rayon se réfléchit sur lui-même et la vision cesse alors.

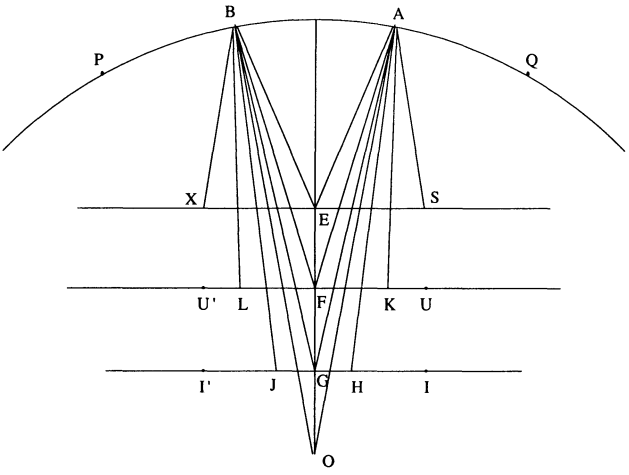
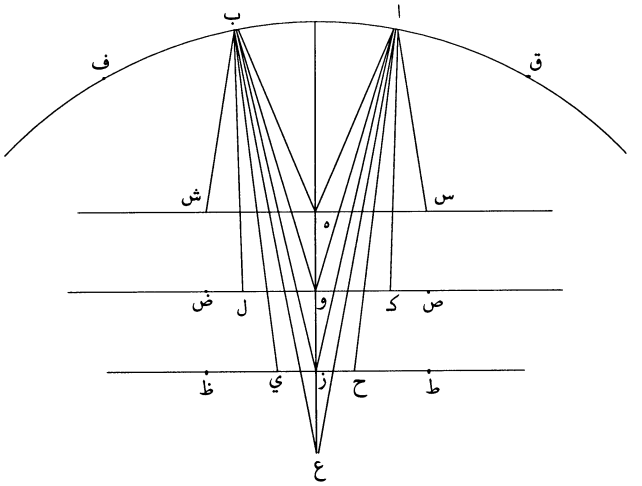


Fig. 9

[26] On a supposé *E*, *F*, *G* sur la médiatrice de *AB* qui est donc un axe de symétrie pour la figure.

[27] C'est-à-dire la réflexion du rayon visuel.

في مرآة ا ب. وليكن الشعاع المخرج من البصر – الذي على ه – إلى مرآة ا ب بين خطي ا ه ه ب، والشعاعُ المخرج من البصر – الذي على و [ه] – بين خطي ا و و ب، والشعاعُ المخرج من البصر – الذي على ز – بين خطي ا ز ز ب؛ فيكون البصر الذي على ه يرى مرآة ا ب بزاوية ا ه ب، والبصرُ الذي على و يرى مرآة ا ب بزاوية ا و ب، والبصر الذي على ز يرى مرآة ا ب بزاوية ا ز ب. وليكن الشعاع الذي على ه ا ينعكس عن مرآة ا ب على زاوية مساوية ‹لزاوية› ه ا ب، فلينعكس على خط ا س، والشعاع الذي على و ا ينعكس على زاوية مساوية لزاوية و ا ب؛ وزاوية و ا ب أعظم من زاوية ه ا ب، فهو إذاً ينعكس على زاوية أعظم من زاوية ق ا س، فلينعكس على زاوية ق ا ك؛ فلتكن زاوية ق ا ك مساوية لزاوية و ا ب، فتقع نقطة ك بين نقطتي ص و. فتكون زاوية و ا ك أضيق من زاوية و ا س. وكذلك أيضًا من الجهة الأخرى تكون زاوية و ب ل أضيق من زاوية و ب ش، فيكون المبصر في مرآة ا ب من الوجه الذي على ص ض مقدار ك ل، فيرى بزاوية ا و ب بعض الوجه الذي على ك ل. وكذلك أيضًا ينقص ما يرى من الوجه إذا كان على خط ط ظ لكون الشعاع المنعكس عليه بين خطي ا ح ي ب لكون زاوية ق ا ح مساوية لزاوية ف ب ي. ولا يزال الانعكاس حتى يصير البصر على



5-4 والبصر (الثانية)... ا و ب: مكررة – 8-9 وزاوية و ا ب ... على زاوية: «وزاوية و ا ب وزاوية و ا ب اعظم من زاوية ه ا ب فهو اذا انعكس على زاوية مساوية لزاوية و ا ب» وهذا تكرار مع الخطأ – 9 ق ا س: و ا س – 10 ق ا ك (الأولى والثانية): و ا ك – 11 و: ق / وكذلك: ولذلك – 12 و ب ل: و ن ل / و ب ش: و ر س – 14 وكذلك: ولذلك – 15 لكون (الأولى): يكون – 16 ف ب ي: ق ب ي.

C'est par cette cause que cesse la vision dans le miroir concave et que croît la grandeur de ce qui apparaît du visage ; la vision dans le miroir cesse alors parce que, parmi les angles engendrés par le rayon et par la surface du miroir, ceux qui sont le plus loin du diamètre sont plus étroits et ceux qui sont le plus près du diamètre sont plus grands, et ils continuent à grandir ; et s'ils s'approchent du diamètre, ils croissent jusqu'à ce que les deux angles qui sont de part et d'autre du diamètre deviennent adjacents[28], alors l'angle du rayon sera l'adjacent[29] de l'angle de la réflexion sans qu'il y ait un angle entre eux ; le rayon se réfléchit alors sur lui-même.

On a ainsi montré que les visibles dans le miroir concave à concavité sphérique continueront à augmenter à mesure que l'œil s'éloigne du miroir jusqu'à ce que l'œil soit au centre de la sphère de la surface du miroir[30].

– 27 – Par quelle cause ne voit-on pas le visage dans le miroir convexe une fois que l'on a cessé de l'y voir en raison de sa petitesse, alors qu'on le voit dans le miroir concave, à concavité sphérique, une fois que l'on a cessé de le voir en raison de sa grandeur?

Le miroir convexe, à convexité sphérique, réfléchit le rayon émergeant vers lui d'une manière élargie et dispersée comme nous l'avons montré précédemment. L'angle sous lequel est vu le visage décroît à mesure que le miroir s'éloigne du visage jusqu'à ce qu'il devienne étroit et devienne alors sous la forme d'une droite sans largeur ; on ne perçoit pas le visage qui fait face au miroir car l'angle des rayons s'élargit et le rayon se disperse amplement jusqu'à ce que ce que la partie du rayon qui tombe sur le visage devienne, si on la compare à la grandeur de l'angle de réflexion, sans commune mesure, c'est alors qu'on ne voit plus le visage dans le miroir convexe. Si on éloigne ce miroir du visage à une distance encore plus grande, il n'est pas possible d'élargir l'angle qui est devenu tellement étroit qu'il est sous la forme d'une droite sans largeur. Mais il décroît toujours et l'angle de la réflexion devient de plus en plus large[31]. Il n'existe aucune voie pour voir le visage dans le miroir si l'angle décroît toujours, de même l'angle du rayon qui tombe sur le visage décroît par rapport à l'angle de réflexion. /

89r Quant au miroir concave à concavité sphérique, si le rayon émerge vers lui et si son angle décroît toujours et que les angles de sa réflexion croissent toujours, alors le rayon réfléchi diminue[32] et s'affine jusqu'à ce qu'il soit réfléchi sur lui-même, et l'œil ne voit rien du tout du visage.

---

[28] Litt. : égaux.

[29] Litt. : égal à.

[30] Le visible que l'auteur a considéré était simplement le visage.

[31] L'angle du faisceau réfléchi décroît, mais le segment qu'il détermine sur la perpendiculaire à l'axe du miroir menée à partir de l'œil est de plus en plus large.

[32] Voir introduction.

نقطة ع. فإذا صار على نقطة ع / صار انعكاسه على ذاته، لأن خط ا ع ٨٨-ظ
نصف قطر وزاوية ق ا ع مساوية لزاوية ع ا ب. وكذلك زاوية ع ب ا
مساوية لزاوية ع ب ف وينعكس الشعاع على ذاته، وعند ذلك ينقطع
البصر. ولهذه العلة صار انقطاع البصر في المرآة المقعرة <و>يتزيّد عظم ما
يرى من الوجه. وانقطاع البصر في المرآة: وذلك أن الزوايا التي تحدث من
الشعاع <وبسيط المرآة> ما كان منها أبعد عن القطر كان أضيق وما كان
منها أقرب إليه كان أعظم ولا يزال عظيماً؛ وإذا قربت من القطر تتزيد حتى
تكون الزاويتان اللتان عن جنبتيه متساويتين، فتكون زاوية الشعاع <هي>
المساوية لزاوية الانعكاس لا زاوية بينهما، فينعكس الشعاع على ذاته.
فتبين أن المبصرات في المرآة المقعرة تقعيراً كرياً لا تزال عظيمة تتزيد
كلما بعد <البصر> عن المرآة إلى أن يصير البصر على مركز كرة بسيط
المرآة.

– كز – لأية علة لا يرى الوجه في المرآة المقببة بَعْد انقطاع رؤيته فيها
لصغره، ويرى في المرآة المقعرة تقعيراً كرياً بَعْد انقطاع رؤيته فيها لعظمه؟
المرآة المقببة تقبيباً كرياً تعكس الشعاع المنبعث عنها بَسْطاً منتشراً
كما بينا فيما تقدم؛ فتكون الزاوية التي يبصر بها الوجه متزيدة الصغر كلما
بعدت المرآة عن الوجه حتى تضيق، فتصير في صورة خط لا عرض له، ولا
يدرك الوجه المقابل لها، لأن زاوية الشعاع عند ذلك تتسع وينتشر انتشاراً
كثيراً حتى يكون الذي يقع من الشعاع على الوجه إذا قيس إلى عظم زاوية
الانعكاس لا قدر له عندها، فعند ذلك لا يُرى الوجه في المرآة المقببة. فإن
بوعدت عن الوجه أكثر من ذلك البعد، لم يمكن أن تتسع تلك الزاوية التي
ضاقت حتى صارت في صورة الخط الذي لا عرض له، بل يزداد صغرها
دائماً وتزداد زاوية الانعكاس اتساعاً، ولا يوجد سبيل إلى أن يرى الوجه
فيها إذا كانت الزاوية تزداد صغراً دائماً، وكذلك زاوية الشعاع الواقع على
الوجه تزداد صغراً عند زاوية الانعكاس. /
وأما المرآة المقعرة تقعيراً كرياً، فإن الشعاع الذي ينبعث إليها، إن ٨٩-و
كانت زاويته تزداد صغراً دائماً وزوايا انعكاسه تزداد عظماً دائماً، فإن
الشعاع المنعكس يزداد نقصاً ودقة حتى ينعكس الشعاع على ذاته؛ فلا رأى
من <الوجه> البصرُ شيئاً البتّة.

1 على نقطة ع: مكررة – 3 ع ب ف: ع ب – 7 وإذا: اذا – 9 لا: لان – 14 لعظمه: العظيمة
– 17 فتصير: فيصير – 26 إن: وان – 28 رأى: هكذا كتبت «ياص».

Si on éloigne le miroir du visage d'une distance encore plus grande, la réflexion se fera du côté opposé au côté vers lequel elle se faisait d'abord, et l'angle de réflexion commence à croître de la manière suivant laquelle il le faisait d'abord, et à mesure que l'angle de réflexion augmente en grandeur, le rayon augmente en largeur et la largeur[33] du visage devient plus petite que la largeur sur laquelle tombe le rayon réfléchi ; alors l'angle du rayon qui tombe sur le visage sera par rapport à l'angle du rayon réfléchi très petit jusqu'à ce qu'on ne voit plus du tout le visage ; l'augmentation de l'angle de sa réflexion sera soumise à la même règle que pour le miroir convexe, et la diminution de ce qu'on voit du visage sous l'angle du rayon sera soumise à la même règle que pour la diminution de l'angle du rayon qui se réfléchit vers le visage dans le miroir convexe jusqu'à ce qu'on ne voit plus du tout le visage.

Nous montrerons cet énoncé d'une manière claire et par des figures géométriques dans les chapitres que nous allons présentés ensuite – si Dieu le Très-Haut le veut.

– 28 – Par quelle cause ne voit-on pas le visage dans certains miroirs si le visage est à une distance déterminée, dans quel miroir cela se produit-il et à quelle distance ?

Pour tout miroir concave, à concavité sphérique, si la pupille est placée en son centre, elle n'y voit rien du tout, car le rayon qui émerge de l'œil dans cette position se réfléchit sur lui-même. Il ne rencontre rien d'autre que le point sur lequel il se réfléchit et ceci se montre d'une manière claire comme je le décris.

Imaginons un miroir concave à concavité sphérique sur lequel il y a *A*, *B* ; soit l'arc *AB* son gabarit par lequel on le rectifie, arc qui est une partie du demi-cercle dont la rotation a engendré la surface de sa sphère. Soit *E* le centre de la sphère et l'œil sur lui. Menons le rayon visuel de l'œil, qui est en *E* au miroir *AB* entre les deux droites *AE*, *EB*.

Je dis que le cône radiant mené de l'œil, qui est au point *E*, pour rencontrer le miroir *AB*, se réfléchit sur lui-même[34] et qu'on ne voit rien du tout dans le miroir *AB*[35].

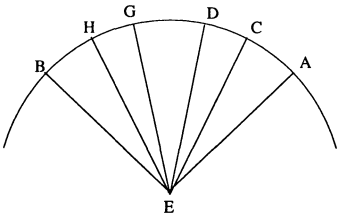


Fig. 10

[33] Litt. : distance.

[34] Notons que ce résultat a déjà été utilisé dans 26.

[35] Voir la *Catoptrique* attribuée à Euclide, propositions 2 et 5.

فإن بوعدت المرآة عن الوجه أكثر من ذلك البعد، كان الانعكاس إلى الجهة الأخرى المخالفة للجهة التي كان أوّلاً فيها، ثم تبدأ زاوية الانعكاس في التزيّد على مثل ما كانت عليه أوّلاً، وكلما زادت زاوية الانعكاس عظمًا، زاد الشعاع اتّساعًا وقلّ بعد الوجه عن البعد الذي يقع عليه الشعاع المنعكس، فتصير زاوية الشعاع الذي يقع على الوجه عند زاوية الشعاع المنعكس ‹صغيرة› جداً حتى لا يرى الوجه البتة؛ ويكون حكم زاوية انعكاسه في العظم مثله في الانعكاس الذي يكون عن المرآة المقببة، وحكم زاوية الشعاع الذي يقع على الوجه في الصغر مثل حكم صغر زاوية الشعاع الذي ينعكس عن الوجه في المرآة المقببة حتى لا يرى الوجه البتة.

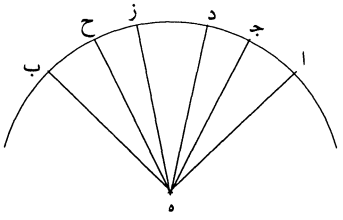
وسنبين هذا القول بياناً واضحًا بأشكال خطوطية في الأبواب التي نأتي بها فيما بعد - إن شاء الله تعالى.

- كح - لأية علة لا يرى الوجه في بعض المرايا إذا صار على بعد من الأبعاد محدود، في أي مرآة يكون ذلك وعلى أي بعد ؟

كل مرآة مقعرة تقعيراً كريًا إذا وضع الناظر على مركزها لم ير فيها شيئًا البتة، لأن الشعاع المنبث من البصر في هذا الوضع ينعكس على ذاته. فلا يلقى شيئًا غير النقطة التي انعكس منها؛ وذلك يتبين بياناً واضحًا بما أصف.

لنتوهم مرآة مقعرة تقعيراً كريًا عليها آ ب؛ ولتكن قوس آ ب مسطرتها التي تقوم بها، وهي قوس من نصف الدائرة التي حدث عن دورانها بسيط كرتها. وليكن مركز الكرة ه والبصر عليها. ولنخرج الشعاع البصري من البصر الذي على ه إلى مرآة آ ب بين خطي آ ه ب ه.

فأقول: إن المخروط الشعاعي الذي يخرج من البصر الذي على نقطة ه، فيلقى مرآة آ ب، ينعكس على ذاته، ولا يُرى في مرآة آ ب شيء البتة.



15 شيئًا: شيء - 16 شيئًا: شيء - 19 بسيط: البسيط - 23 مرآة (الثانية): احراه.

Démonstration : Menons du point *E* au miroir *AB* des droites, à
89v volonté ; soit les droites *EC*, *ED*, *EG*, / *EH*. Il est évident que toutes ces droites sont égales car elles sont menées du centre *E* à la circonférence d'un cercle qui admet ce centre. Chacune d'elles est un demi-diamètre, et limite avec la circonférence du cercle deux angles égaux. Or nous avons montré que le rayon se réfléchit sur les corps polis suivant des angles égaux. Si donc nous imaginons les droites *EA*, *EC*, *ED*, *EG*, *EH*, *EB* comme rayons[36] qui rencontrent un corps poli qui est le miroir, lequel est sur *AB*, alors elles le rencontrent suivant des angles égaux, chacune se réfléchit donc sur elle-même et elles se réfléchissent donc sur un seul point qui est le point *E* et on ne voit rien d'autre que le point *E* dans le miroir *AB*.

– 29 – Par quelle cause voit-on la couleur du miroir différente, penchant parfois vers le gris et parfois vers le bleu foncé, dans quel miroir cela se produit-il et à quelle distance cela se produit-il ?

Nous avons montré dans le chapitre précédent que le rayon visuel se réfléchit sur lui-même sur le miroir concave, à concavité sphérique, si l'œil est au centre de la sphère de sa surface, alors on ne voit rien du tout car la réflexion des rayons sur le miroir aboutit à un seul point et ce point est le point de l'œil. Mais puisque l'œil qui regarde a deux couleurs – l'une est le noir à travers lequel pénètre le rayon visuel et l'autre est le blanc sur lequel tombe le rayon réfléchi – en raison de la rapidité du mouvement de l'œil, le rayon tombe parfois sur le noir de la pupille et parfois sur le blanc de l'œil. S'il tombe sur le noir, il se produit pour le miroir une couleur composée de la couleur de son corps et de la couleur du rayon réfléchi sur la pupille elle-même, il se produit à partir de cela, pour le miroir, une couleur violet ou bleu foncé, ou une couleur semblable à celles qui sont intermédiaires entre la couleur de la pupille et la couleur du miroir. Si le rayon réfléchi tombe sur le blanc de l'œil, on verra une couleur composée de la couleur du blanc de l'œil et de la couleur du miroir, et la couleur intermédiaire entre ces deux couleurs est le gris ou l'argenté, ou est proche de celles-ci.

C'est par cette cause qu'on voit la couleur du miroir, à cette distance qui est le demi-diamètre de la sphère de sa surface, différente, penchant parfois vers la couleur bleu foncé ou violet et parfois vers l'argenté ou le gris.

---

[36] On voit apparaître ici la distinction entre le rayon et la droite qui le porte. Cette distinction n'est cependant pas encore l'élément d'une théorie, et Ibn Lūqā ne s'en sert pas.

برهانه: أنا نخرج من نقطة ه خطوطًا مستقيمة كم شئنا إلى مرآة آ ب، وهي خطوط ه جـ ه د ه ز / ه ح. فظاهر أن هذه الخطوط كلها متساوية لأنها ٨٩-ظ خرجت من مركز <ه> إلى محيط دائرة ذلك المركز. وكل واحد منها نصف قطر ويحيط مع محيط الدائرة بزاويتين متساويتين. وقد كنا بينا أن الشعاع ينعكس عن الأجرام الصقيلة على زوايا متساوية. فإذا توهمنا خطوط ه آ ه جـ ه د ه ز ه ح ه ب شعاعات تلقى جرمًا صقيلاً، وهو المرآة التي على آ ب، كان لقاؤها أياه على زوايا متساوية، فهي إذاً تنعكس على ذاتها فهي إذاً تنعكس على نقطة واحدة وهي نقطة ه، فلا يرى في مرآة آ ب شيء غير نقطة ه.

– كط – لأية علة يرى لون المرآة مختلفًا مائلاً تارة إلى اللون الرصاصي وتارة إلى اللون الكحلي، وفي أي مرآة يكون ذلك، وعلى أي بعد يكون ؟

قد بينا في الباب الذي قبل هذا أن الشعاع البصري ينعكس عن المرآة المقعرة تقعيراً كريًا على ذاته إذا كان البصر على مركز كرة بسيطها، فلا يُرى فيها شيء البتة، لأن انعكاس الشعاع عنها ينتهي إلى نقطة واحدة، وتلك النقطة هي نقطة البصر. ولأن العين الباصرة ذات لونين – أحدهما السواد الذي ينفذ منه الشعاع البصري، والآخر البياض الذي صار الشعاع المنعكس يقع عليه – فلسرعة حركة العين، يقع الشعاع تارة على سواد الحدقة وتارة على بياض العين. فإذا وقع على سوادها، حدث للمرآة لون مؤلف من لون جسمها ومن لون الشعاع المنعكس على نفس الحدقة، فيكون عن ذلك لون المرآة بنفسجيًا أو كحليًا أو ما أشبه ذلك من الألوان التي بين لون الحدقة وبين لون المرآة. وإذا وقع الشعاع المنعكس على بياض العين، رئي لون المرآة مركبًا من لون بياض العين ولون المرآة، واللون الذي بين هذين اللونين رصاصي أو فضي أو قريب منهما. فلهذه العلة نرى لون المرآة من هذا البعد الذي هو نصف <قطر> كرة بسيطها مختلفًا مائلاً تارة إلى اللون الكحلي أن البنفسجي وتارة إلى اللون الفضي أو الرصاصي.

16 ينفذ منه: منه بعد – 22 المرآة (الأولى): العين – 25 أن: اد.

– 30 – Par quelle cause voit-on le visage inversé dans certains / 90r miroirs ? Dans quels miroirs et à quelle distance voit-on cela ?[37]

Pour le miroir concave, à concavité sphérique, si le centre de sa sphère est entre lui et l'œil, on y voit le visage inversé, car le rayon visuel se réfléchit sur lui du côté opposé à celui à partir duquel il est émis, ainsi le rayon qui émerge vers le miroir du côté droit est réfléchi du côté gauche et de même le rayon qui émerge du côté gauche est réfléchi du côté droit. De cette manière également la réflexion du rayon se fait du haut vers le bas et du bas vers le haut, et on voit dans le miroir la droite à gauche et la gauche à droite, le haut en bas et le bas en haut, et ainsi on voit dans le miroir que nous avons décrit, si la position de la pupille est à la distance que nous avons déterminée, le visage inversé.

Traçons pour cela une figure géométrique pour montrer clairement ce que nous avons dit.

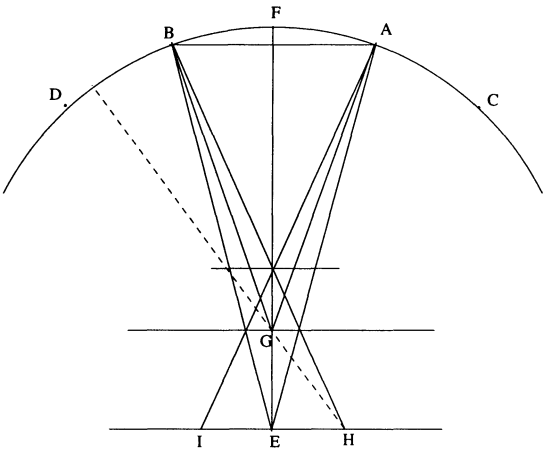


Fig. 11

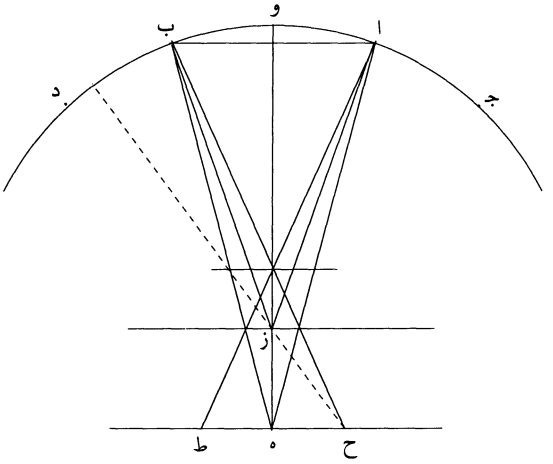
Imaginons un miroir concave à concavité sphérique sur lequel il y a *C*, *A*, *B*, *D*. Soit le point *G* le centre de sa sphère ; que l'œil soit au point *E*, et que *G* soit entre le point *E* et l'arc *AB*. Joignons *EG* et prolongeons-la jusqu'à ce qu'elle rencontre le miroir en *F*, le point *F* sera donc le centre du miroir. Menons du point *E* un rayon visuel de la forme d'un cône sur lequel il y a *AB*, ce rayon se réfléchit donc sur le miroir *AB*. Si nous voulons connaître le côté vers lequel il se réfléchit pour qu'il soit clair pour nous que sa réflexion est du côté opposé à celui à partir duquel il est émis ; nous joignons les deux points *A* et *G* et les deux points *G* et *B* par

[37] Comparer aux propositions 10 et 11 de la *Catoptrique* attribuée à Euclide. On constatera qu'il s'agit de deux manières différentes de poser le problème.

– لَ – لأية علّة يرى الوجه في بعض / المرايا مقلوباً وفي <أي> مرآة ٩٠-و
وعلى أي بعد يرى ذلك؟

المرآة المقعرة تقعيراً كرياً، إذا كان مركز كرتها بينها وبين البصر، يرى الوجه فيها مقلوباً، وذلك أن الشعاع البصري ينعكس عنها في ضدّ الجهة التي ينبعث منها، فالشعاع الذي انبعث إليها من الجهة اليمنى ينعكس إلى الجهة اليسرى، وكذلك أيضاً الشعاع الذي ينبعث من الجهة اليسرى ينعكس إلى الجهة اليمنى. وعلى هذا المثال أيضاً يكون انعكاس الشعاع من العلو إلى السفل ومن السفل إلى العلو، يرى في المرآة اليمين يساراً واليسار يميناً والعلو سفلاً والسفل علواً، فيرى في المرآة التي وصفنا، إذا كان وضع الناظر على البعد الذي حددنا، الوجه مقلوباً.

فلنرسم لذلك شكلاً خطوطياً نبين به ما قلنا بياناً واضحاً.



فنتوهم مرآة مقعرة تقعيراً كرياً على جـ آ ب دَ، ومركز كرتها نقطة زَ والبصر على نقطة هَ <وليكن زَ بين نقطة هَ> وبين قوس آ ب. ونصل ه زَ ونخرجه على استقامة حتى يلقى المرآة على وَ، فتكون نقطة وَ مركز المرآة. ولنخرج من نقطة هَ شعاعاً بصرياً في صورة مخروط عليه آ ب، فهذا الشعاع ينعكس عن مرآة آ ب. فإذا أردنا أن نعرف الجهة التي ينعكس إليها حتى يتبين لنا انعكاسه إلى ضدّ الجهة التي انبعث منها، نصل نقطتي آ زَ وبين

1 المرايا: المرآة – 6 وكذلك: ولذلك – 12 زَ: دَ.

les deux droites *GA* et *GB*. Il est clair que l'angle *FAG* est égal à l'angle *GAC* et que l'angle *DBG* est égal à l'angle *GBA* ; l'angle *CAE* est donc plus petit que l'angle *EAB* ; mais le rayon se réfléchit suivant des angles égaux comme nous l'avons montré précédemment ; le rayon *EA* se réfléchit donc suivant un angle égal à l'angle *CAE*, il se réfléchit par conséquent vers *I* pour que l'angle suivant lequel il se réfléchit soit égal à l'angle *CAE* ; qu'il se réfléchisse suivant l'angle *FAI*. Le point *I* sera donc vu dans la direction du point *A*. De même le rayon *EB* se réfléchit suivant la droite *BH*, on voit donc *H* dans la direction de *B*. Mais le côté de *H* est opposé au côté de *B* et le côté de *I* est opposé au côté de *A*. Les visibles sont donc vus dans le miroir *AB* à partir de la pupille, qui est en *E*, à l'opposé de leurs positions, la droite à gauche et la gauche à droite. Cela se produit de même si nous imaginons cette figure verticale pour que la droite *FE* reste fixe dans sa position, et que *CABD* soit dressé
90v verticalement sur la droite *FE*, pour que l'arc *CAF* / soit en haut et que l'arc *FBD* soit en bas, et que le rayon *AE* soit en haut et le rayon *BE* en bas, on voit dès lors ce qui est en haut en bas et ce qui est en bas en haut, le visage est donc vu inversé et ses parties visibles à l'opposé de leurs positions.

– 31 – Par quelle cause voit-on le visage dans certains miroirs non seulement inversé, mais à trois yeux et deux nez? Dans quels miroirs voit-on cela et à quelle distance?

Nous avons évoqué dans le chapitre précédent la cause par laquelle on voit le visage inversé dans le miroir, ceci en raison de la réflexion du rayon du côté opposé à celui à partir duquel il est émis ; ceci a lieu pour le miroir concave à concavité sphérique, si la pupille est placée sur la droite qui passe par le centre de sa sphère et tombe sur le centre du miroir, [c'est-à-dire] et si la distance du miroir à la pupille est plus grande que le demi-diamètre de la sphère de la surface du miroir. Nous avons montré que si l'œil est au centre de la sphère, alors le rayon se réfléchit sur lui-même, et rien d'autre ne sera vu dans le miroir que la pupille ; et ce qu'on voit de la pupille dans le miroir est le point sur lequel se réfléchit le rayon entier. Or puisque la pupille change de place très rapidement, le rayon tombe de l'œil, une fois sur le noir de l'œil, une fois sur le blanc ; on voit ainsi une forme différente dans le miroir pour les raisons que nous avons mentionnées au chapitre précédent. C'est à partir de cela que se montre la cause par laquelle nous voyons dans le miroir trois yeux, deux dans leur position et le troisième entre eux.

نقطتي ز ب بخطي ز آ ز ب. وظاهر أن زاوية و آ ز مساوية لزاوية ز آ ج، <و>زاوية د ب ز مساوية لزاوية ز ب آ، فزاوية ج آ ه أصغر من زاوية ه آ ب، والشعاع ينعكس على زوايا متساوية كما بينا فيما تقدم، فشعاع ه آ ينعكس على زاوية مساوية لزاوية ج آ ه، فهو إذاً ينعكس إلى ط حتى تكون الزاوية التي ينعكس عليها مساوية لزاوية ج آ ه، ولينعكس على زاوية و آ ط. فترى نقطة ط في سمت نقطة آ. وكذلك ينعكس شعاع ه ب على خط ب ح، فترى ح على <سمت> ب. ولكن جهة ح ضدّ جهة ب وجهة ط ضدّ جهة آ. فترى المبصرات في مرآة آ ب من الناظر الذي على ه في ضدّ مواضعها، اليمين يساراً واليسار يميناً. وكذلك يعرض أيضًا إن توهمنا هذا الشكل قائماً حتى يكون خط و ه ثابتًا في مكانه، <و>جآ ب د قائمة على خط و ه حتى تكون قوس ج آ و / علواً وقوس و ب د سفلاً، وشعاع آ ه علواً ٩٠-ظ وشعاع ب ه سفلاً، فإن عند ذلك يرى العلو سفلاً والسفل علواً، فيرى الوجه مقلوباً وأجزاؤه المبصرة منه في أضداد مواضعها.

– لآ – لأية علّة يرى الوجه في بعض المرايا مع انقلابه ذا ثلاث أعين وأنفين؟ وفي أي المرايا يرى ذلك وعلى أي بعد يرى؟

قد ذكرنا في الباب الذي قبل هذا العلة التي لها يرى الوجه في المرآة مقلوباً وأن ذلك لانعكاس الشعاع إلى الجهة المضادة للجهة التي انبعث منها وأن ذلك يكون في المرآة المقعرة تقعيراً كريًا، إذا كان وضع الناظر على الخط الذي يجوز على مركز كرتها ويقع على مركزها، أعني أن يكون بعدها عن الناظر أكثر من نصف قطر كرة بسيطها. وبينا أن البصر إذا كان على مركز الكرة، كان انعكاس الشعاع على نفسه فلم ير في المرآة شيء غير الناظر، وأن ما يرى في المرآة من الناظر النقطةُ التي ينعكس عليها الشعاع كلّه. ولأن الناظر يحول حولاً سريعاً، يكون وقوع الشعاع مرة على سواد الناظر ومرة على بياضه، فيرى صورة المرآة مختلفة للأسباب التي ذكرناها في الباب الذي تقدّم. ومن هنالك تبيّن العلّة التي لها نرى في المرآة ثلاث أعين، اثنين في موضعيهما وثالثة بينهما.

1 زَ: وَ / زَب: وَب – 2 د ب زَ: زَب / زَب آ: رَب / جَ آ ه: آ جَ – 3 ه آ ب: آ / والشعاع: فالشعاع – 4 جَ آ ه: جَ آ د / ط: ه ط جَ – 5 جَ آ ه: جَ آ د – 6 و آ ط: ر ل ط / وكذلك: ولذلك – 9 وكذلك: ولذلك – 10 جَ آ ب د: ح آ و ب د – 12 ب ه: د ه – 17 انبعث: انبعثت، وهذا جائز لأن المقصود بالشعاع «الحزمة الشعاعية» – 21 ير: يرى.

Car, en effet, le rayon réfléchi sur le miroir concave, si l'œil à partir duquel émerge le rayon est <à une place> proche de sa position dans le centre, se réfléchit suivant des angles très larges ; ainsi à mesure que les angles de réflexion s'élargissent[38], le rayon devient étroit, les angles de réflexion continuent à s'élargir et le rayon réfléchi à devenir étroit jusqu'à ce que les angles de réflexion s'annulent[39] tout à fait[40] ; le rayon se réfléchit sur lui-même, et la distance suivant laquelle le rayon se réfléchit s'annule, donc sa réflexion se fera sur la pupille elle-même, comme nous l'avons montré précédemment. Si la position de la pupille se rapproche du centre de la sphère du miroir, la réflexion du rayon se fera sur une petite distance ; que la distance de sa réflexion soit petite. Or comme nous l'avons dit précédemment, il se produit pour le strabisme de la pupille ce qui se produit pour la dispersion des rayons. Mais le rayon de chacun des deux yeux tombe sur le même et seul visible ; si sur la distance <entre> les deux yeux, il tombe à la fois un rayon de chacun des deux yeux, on voit pour un seul visage quatre yeux et deux nez, et toutes
91r les parties du visage seront vues doubles ; et si / la séparation est faible, ne comprenant pas les deux yeux à la fois, alors les rayons de chacun des deux yeux tombent sur la moitié de <l'intervalle> des deux yeux, et si les deux moitiés se réunissent, on a un troisième œil entre les deux yeux, on voit le nez gros, augmenté dans sa masse et non pas dans sa longueur. Si on éloigne d'un peu plus que cette distance le miroir de la pupille, le rayon se sépare encore plus et il se réfléchit sur chacun des deux yeux deux rayons ; on voit alors pour le visage quatre yeux et deux nez. Ceci se produit de même quand la pupille s'éloigne du centre d'une petite distance pour voir le visage inversé, alors qu'elle voit pour la première distance trois yeux et un nez. Ceci est la cause par laquelle le visage vu par la pupille qui est au centre de la surface du miroir a trois yeux et un grand nez, et, ensuite, quatre yeux et deux nez ; toutefois là on voit le visage dans sa position droite, et ici on le voit inversé.

– 32 – Par quelle cause voit-on dans le miroir le visage inversé avec deux yeux et pourquoi continue-t-il à diminuer à mesure que le miroir s'en éloigne jusqu'à ce que l'on ne le voit plus du tout?

Si la distance de l'œil au miroir est plus grande que le demi-diamètre de la sphère de sa surface, on voit <le visage> inversé dans le miroir. Si l'œil est très proche du centre de la sphère, on voit le visage dans le miroir, inversé, avec trois yeux et deux nez ; et si sa distance au centre est grande, on voit le visage inversé avec deux yeux, et à mesure que l'œil s'éloigne du centre de la sphère, le visage diminue et il continue à diminuer toujours, tout en étant inversé, jusqu'à ce qu'on ne le voit plus

[38] Il s'agit de l'angle du rayon réfléchi avec la surface du miroir.
[39] C'est-à-dire deviennent adjacents.
[40] Voir note complémentaire.

فإن ذلك لأن الشعاع المنعكس عن المرآة المقعرة، إذا كان البصر الذي ينبعث الشعاع عنه قريبًا من وضعه من المركز، كان انعكاسه على زوايا واسعة، جداً، وكلما اتسعت زوايا الانعكاس ضاق الشعاع، ولا تزال زوايا الانعكاس تتسع والشعاع المنعكس يضيق حتى تبطل زوايا الانعكاس البتة وينعكس الشعاع على ذاته، ويبطل البعد الذي كان الشعاع ينعكس عليه، فيصير انعكاسه على الناظر نفسه كما بيّنا فيما تقدّم. فإذا قرب وضع الناظر من مركز كرة المرآة، كان انعكاس الشعاع على بُعد يسير؛ فليصغر بعد مسافة انعكاسه. وحولان الناظر يعرض فيه ما قلنا فيما تقدم أنه يعرض من تفرقة الشعاع. ووقوع شعاع كل واحدة من العينين على المبصر الواحد بعينه؛ فإذا وقع على مسافة <تشمل> العينين جميعًا شعاع من كل واحدة من العينين، رئي للوجه الواحد أربع أعين وأنفان ورئيت أجزاء الوجه جميعًا مضعفة؛ فإذا وقع / الافتراق يسيراً لم يشتمل العينين جميعًا، فتقع الشعاعات من كل ٩١-و واحدة من العينين على نصفها؛ فإذا اجتمعا النصفان، كان منهما عين ثالثة بين العينين، ويرى الأنف غليظًا زائداً في ثخنه لا في طوله. فإذا بوعدت المرآة عن الناظر أكثر من ذلك البعد قليلاً تفرق الشعاع تفرقة أكثر وانعكس على كل واحدة من العينين شعاعان اثنان، فرئي للوجه أربع أعين وأنفان. وكذلك يعرض إذا بعد الناظر عن المركز بعداً يسيراً حتى يرى الوجه مقلوبًا، فإنه في أوّل بعد يرى له ثلاث أعين وأنفان. <ومن هنالك تبين> العلّة التي يُرى لها الوجه <من> قبل الناظر على مركز بسيط المرآة <ذا> ثلاث أعين وأنف كبير، ثم أربع أعين وأنفان، إلا أن ذلك يُرى والوجه مستوي الوضع وهذا يرى مع انقلاب الوجه.

– لب – لأية علّة يرى الوجه في المرآة مقلوبًا ذا عينين ولا يزال صغره يزداد كلما بعدت المرآة عن الوجه حتي لا يرى البتّة؟

إذا كان بعد البصر عن المرآة أكثر من نصف قطر كرة بسيطها، رئي في المرآة مقلوبًا. فإن كان قريبًا من مركز الكرة قربًا شديداً، رئي الوجه فيها مع انقلابه ذا ثلاث أعين وأنفين؛ فإن كان بعده عن المركز بعداً كبيراً، رئي الوجه مقلوبًا ذا عينين، وكلما زاد بعد البصر عن مركز الكرة، زاد صغر الوجه، ولا يزال الوجه يصغر دائمًا مع انقلابه حتى لا يرى البتّة. وعلّة ذلك

1 لأن: أثبتها في الهامش – 11 أربع: اربعه / وأنفان: وانمن / ورئيت: وراى – 13 اجتمعا: اجتمعت – 16 اثنان: بابان – 17 وكذلك: ولذلك.

du tout. La cause de cela est celle que nous avons mentionnée précédemment, c'est-à-dire que le rayon réfléchi sur le miroir se réfléchit du côté opposé à celui dans lequel il rencontre le miroir, et sa dispersion et son élargissement croissent jusqu'à ce que la grandeur du visage diminue lors de la dispersion du rayon et devienne donc tellement petite que l'œil ne le perçoit pas.

Traçons pour cela un exemple géométrique par lequel on montre de façon sensible ce que nous avons dit.

Imaginons un miroir concave, sur lequel il y a A, B, à concavité sphérique ; que le centre de sa sphère soit le point G, que l'œil soit plus loin du miroir que le centre de sa sphère supposé au point G – que sa position soit au point E –, que le visage soit sur la droite RR' et que le rayon mené de l'œil qui est en E, au miroir AB, soit <limité par> les rayons EB et EA. Que l'on mène du point G deux rayons AG et GB. Il est clair que l'angle EBD est plus petit que l'angle GBA. Mais on a montré que le rayon se réfléchit suivant des angles égaux, donc le rayon BE se réfléchit suivant un angle égal à l'angle DBE, il se réfléchit par
91v conséquent suivant un angle plus petit que l'angle / ABG ; qu'il se réflé-

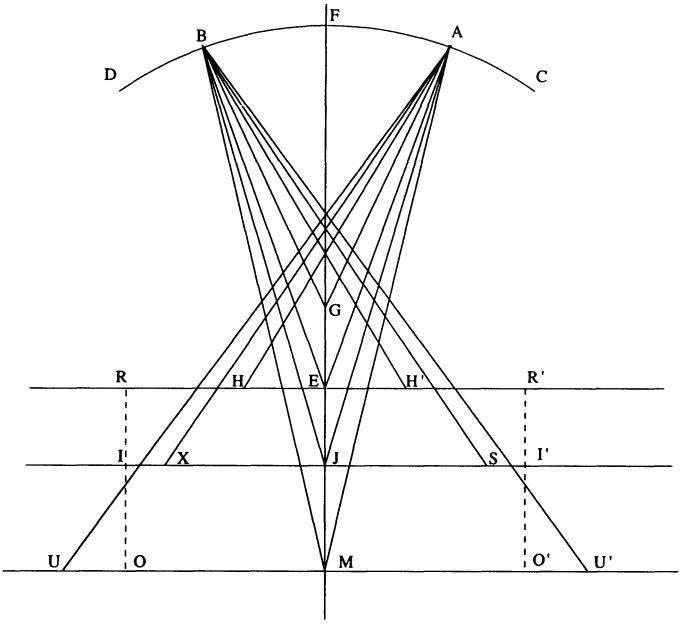
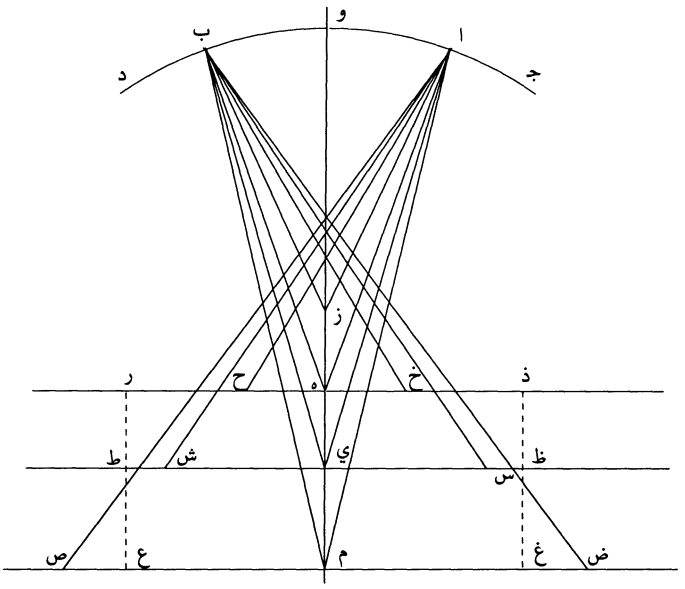


Fig. 12

هي التي ذكرناها فيما تقدّم، أعني أن الشعاع المنعكس عن المرآة ينعكس في ضدّ الجهة التي يلقى المرآة عليها، ويكون انتشاره واتّساعه متزيداً حتى يصغر مقدار الوجه عند انتشار الشعاع، فيصير من الصغر مما لا يدركه البصر.

ولنرسم لذلك مثالاً خطوطيًا يتبيّن به ما قلنا بيانًا حسيًا.

فلنتوهم مرآة مقعرة عليها آ ب وتقعيرها كري، ومركز كرتها نقطة زَ وليكن البصر أبعد عن المرآة من مركز كرتها الذي فرض نقطة زَ، وليكن وضعه على نقطة هَ، وليكن الوجه على خط ر ذَ والشعاع المخرج من البصر الذي على هَ إلى مرآة آ ب شعاع ه ب ه آ. <و>ليخرج من نقطة زَ شعاعان آ ز وز ب. فظاهر أن زاوية ه ب د أصغر من زاوية ز ب آ. وقد كان تبين أن الشعاع ينعكس على زوايا متساوية، فشعاع ب ه ينعكس على زاوية مساوية لزاوية د ب ه فهو إذن ينعكس على زاوية أصغر من زاوية /



3 مما: فيما – 6 لا يفرق الناسخ بين الحروف التالية: ر، ز؛ ط، ظ؛ ع، غ؛ س، ش؛ د، و؛ ص، ض؛ خ، ح؛ د، ب؛ وقد صححناها ولن نثبتها في الهامش / زَ: صَ – 7 مركز: مركزها / زَ: صَ – 8 ر ذَ: و ر – 9 ه ب ه آ: ه د ه و ر / زَ: صَ – 10 آ ز وز ب: إلى جَ وإلى هَ / ه ب د: ه د آ / ز ب آ: ص د آ – 11 ب ه: د ه – 12 د ب ه: آ د ه.

chisse suivant l'angle *ABH'* ; le rayon *EA* se réfléchit suivant l'angle *BAH*, donc la largeur qu'on voit dans le miroir est la largeur *HH'* et on voit la largeur *HE* sous le rayon *EF*, *EA* dans la direction de *AF* et on voit la largeur *EH'* sous le rayon *EF*, *EB* dans la direction de *FB* ; on voit donc sous l'angle *BEA* le visage[41] qui est sur *HH'*, inversé, sous le rayon entre les deux droites *BH'* et *AH*.

De même, supposons que l'œil s'est déplacé du point *E* pour venir au point *J* et que le visage est sur *II'*. Menons du point *J* les rayons *JB* et *JA* ; l'angle *DBJ* sera plus petit que l'angle *EBD*, donc le rayon *JB* se réfléchit suivant un angle plus petit que l'angle *ABH'* ; que sa réflexion se fasse suivant l'angle *ABS* et la réflexion du rayon *JA* se fera suivant l'angle *BAX*, le visage est donc vu suivant l'angle *BJA* et sous le rayon qui est entre les deux droites *BS* et *AX*. Donc *SX* à *II'* est dans un rapport plus grand que le rapport de *HH'* à *RR'*[42], alors on voit *II'* beaucoup plus petit que *RR'*.

De même supposons que l'œil qui était sur <le point> *J* se déplace pour venir sur <le point> *M* ; et le visage vu dans le miroir est sur *OO'*, et le rayon visuel qui sort de l'œil qui est au <point> *M*, vers le miroir *AB*, est limité par les deux droites *MA*, *MB* et se réfléchit suivant les deux droites *AU* et *BU'*, la largeur sur laquelle tombe le rayon réfléchi qui est *UU'* est plus grande que la largeur sur laquelle est tombé le rayon réfléchi quand l'œil était en *J* et qui est *SX*, donc le rapport de *UU'* à *OO'* est plus grand que le rapport de *SX* à *II'*, donc la grandeur de *OO'* par rapport à *UU'* est plus petite que la grandeur de *II'* par rapport à *SX*. Et ainsi l'angle de la vision continue à diminuer et le rapport du visage à la largeur sur laquelle tombe le rayon réfléchi sur le miroir diminue jusqu'à ce qu'il n'ait plus de grandeur sensible et qu'on ne voit plus le visage dans le miroir. Mais puisque le rayon continue à se réfléchir du côté opposé à celui dans lequel il émerge, on voit le visage dans toutes ces positions, inversé, et on continue à le voir inversé, avec deux yeux, jusqu'à ce qu'il disparaisse de la vue et qu'on ne le voit plus du tout.

---

[41] La partie du visage.

[42] On a $RR' = II'$ et $HH' < SX$.

ا ب ز، فلينعكس على زاوية ا ب خ، وشعاع ه ا ينعكس على زاوية ب ا ح، فيكون البعد الذي يرى في المرآة بعد ح خ، فيرى بعد ح ه بشعاع ه و ه ا في جهة ا و ويرى بعد ه خ بشعاع ه و ه ب في جهة و ب، فيرى الوجه الذي على ح خ بزاوية ب ه ا مقلوباً بالشعاع الذي بين خطي ب خ ا ح. ٩١-ظ

وأيضاً فلننزل أن البصر قد انتقل من نقطة ه فصار على نقطة ي، والوجه على خط ط ظ. ونخرج من نقطة ي شعاع ي ب ي ا، فتكون زاوية د ب ي أصغر من زاوية ه ب د، فينعكس شعاع ي ب على زاوية أصغر من زاوية ا ب خ. فليكن انعكاسه على زاوية ا ب س وانعكاس شعاع ي ا على زاوية ب ا ش، فبُصر الوجه بزاوية ب ي ا وبالشعاع الذي بين خطي ب س ا ش. فيكون س ش عند ط ظ أعظم نسبة من نسبة ح خ إلى ر ذ، فيرى ط ظ أصغر كثيراً من ر ذ.

وأيضاً ننزل أن البصر الذي كان على ي قد انتقل حتى صار على م، وصار الوجه الذي يبصر في المرآة على ع غ، والشعاع الباصر يخرج من البصر الذي على م إلى مرآة ا ب على خطي م ا م ب وينعكس على خطي ا ص ب ض، فيكون البعد الذي يقع عليه الشعاع المنعكس وهو ص ض أعظم من البعد الذي يقع عليه الشعاع المنعكس إذا كان البصر على ي وهو س ش، فتكون نسبة ص ض إلى ع غ أعظم من نسبة س ش إلى ط ظ، فيكون قدر ع غ عند ص ض أصغر من قدر ط ظ عند س ش. وكذلك لا يزال زاوية البصر تصغر ونسبة الوجه إلى البعد الذي يقع عليه الشعاع المنعكس من المرآة يصغر حتى لا يكون لها عندها قدر محسوس، فلا يرى الوجه في المرآة. ولأن الشعاع لا يزال ينعكس إلى ضدّ جهة انبعاثه، يرى الوجه في هذه الأوضاع كلها مقلوباً ولا يزال يرى مقلوباً ذا عينين حتى يخفى عن البصر ولا يرى البتّة.

1 ا ب ز: ح ص / ا ب خ: ح د ط / ه ا: ص و / ب ا ح: ب و ح – 2 ح خ: ح ط / ه و ه ا: ه د ح – 3 ا و: ح و / ه خ: ط / ه و ه ب: ه ى ط – 4 ح خ: ح ط / ب ه ا: د ه و / ا ح: ب ح – 6 ي ا: ي و / د ب ي: ا د ي – 7 ه ب د: ا ه د – 8 ا ب خ: د ط / ا ب س: ي ر س / ي ا: ي – 9 ب ا ش: ي و س / ب ي ا: د ي و / ب س ا ش: و س د س – 10 فيكون: وليكن – 14 م ا م ب: م د م و – 15 ا ص ب ض: د ص و ص – 16 ي: ي و – 19 الوجه: الواحد – 21 انبعاثه: ربما كانت في الأصل انبثاثه.

– 33 – Par quelle cause toutes ces notions ont-elles été réunies à propos du miroir que j'ai retenu à l'intention de Monseigneur le Prince? 92r Comment / a-t-on montré à partir d'elles toutes les sortes de la diversité des perspectives que nous avons mentionnées à son propos ?

La face du miroir que j'ai retenu à l'intention de Monseigneur le Prince, et dans laquelle on voit les formes différentes que nous avons mentionnées dans l'introduction de ce livre, cette face est d'un miroir concave à concavité sphérique tel que le diamètre de sa sphère est trois coudées ; le centre de la surface de la sphère du miroir sera à une distance du centre du miroir égale à trente-six doigts. Si donc l'œil est entre ce centre – c'est-à-dire le centre de la sphère – et le miroir, on voit le visage dans celui-ci droit, sous une forme différente en grandeur et en nombre ; toutefois, sur toute cette distance, il sera vu de facture droite. Si on place l'œil plus loin du miroir que le centre de sa surface jusqu'à ce que sa distance au miroir soit plus de trente-six doigts, on voit le visage inversé ; et il ne sera pas vu droit[43]. Si l'œil est à la distance qui est entre le miroir et le centre de la surface de sa sphère et qui est trente-six doigts, on ne voit pas le visage. Si l'œil dépasse cette distance on voit, dans le miroir, le visage inversé et de plus en plus petit jusqu'à ce qu'on ne le voit plus du tout en raison de sa petitesse. On voit le visage, dans le demi-diamètre qui est entre le miroir et le centre, de plus en plus grand jusqu'à ce qu'il parvienne à une telle grandeur qu'on ne voit de lui qu'un point qui est le centre de la pupille ; on voit donc ce point dans tout le miroir, couvrant toute sa surface ; et le visage commence à diminuer si l'œil quitte le centre et il continue à être vu inversé de plus en plus petit jusqu'à ce qu'on ne le voit plus en raison de sa petitesse. Ainsi dans son premier éloignement du miroir, le visage est vu grand et dans une forme droite ; si sa distance au miroir augmente, il est vu de plus en plus grand jusqu'à ce qu'il s'approche du centre du miroir et qu'il soit vu ayant trois yeux ; s'il s'approche encore plus du centre, il sera vu ayant quatre yeux, ensuite il ne sera plus vu du tout en raison du fait que le point de l'œil couvre toute la face du miroir et cela quand l'œil est au centre[44] ; s'il dépasse le centre et s'en éloigne à peine, il est vu ayant trois yeux et deux nez et il est vu en plus inversé et de plus en plus petit jusqu'à ce qu'il disparaisse tout à fait de la vue.

Les causes de toutes ces perspectives sont les causes que nous avons mentionnées dans les chapitres précédents. Reprenons la forme de ces propositions, ensemble, dans un seul dessin, pour montrer par cela toutes ces notions dans une seule forme.

---

[43] Litt. : le visage ne sera pas vu et il ne sera pas vu droit dans le miroir.

[44] Les rayons issus de *E* et réfléchis sur toute la surface du miroir retombent tous au point *E*.

– لج – لأية علّة اجتمعت هذه المعاني في المرآة التي اتخذتها لسيدي الأمير، وكيف / يتبيّن منها كل الأصناف التي ذكرناها منها في اختلاف المناظر؟ ٩٢-و

وجه المرآة التي اتخذتها لسيدي الأمير، الذي ترى فيه الصور المختلفة التي ذكرناها في صدر هذا الكتاب، ‹هو وجه مرآة› مقعرة تقعيراً كريًا وقطر كرتها مقدار ثلاث أذرع؛ فيكون مركز كرة بسيط المرآة بعده عن مركز المرآة ستًا وثلاثين إصبعًا. فالبصر إذا كان بين هذا المركز، أعني مركز الكرة، وبين المرآة يرى الوجه فيها مستويًا في صورة مختلفة المقدار والعدد؛ إلا أنه في جميع ذلك البعد يرى مستوي الخلقة. وإذا جعل وضع البصر أبعد عن المرآة من مركز بسيطها حتى يكون بعده عنها أكثر من ست وثلاثين إصبعًا، رئي الوجه فيها مقلوبًا، فلا يرى الوجه ‹ولا› يرى في المرآة مستويًا. ‹و›إذا كان البصر على البعد الذي بين المرآة وبين مركز كرة بسيطها، وهو ست وثلاثون إصبعًا، ‹فلا يرى الوجه›. فإذا جاز البصر هذا البعد، رئي الوجه في المرآة مقلوبًا متزيداً في الصغر حتى لا يرى البتّة لصغره. فنصف القطر الذي بين المرآة والمركز يرى الوجه فيه متزيد العظم حتى ينتهي من العظم إلى ألاّ يرى منه إلا نقطة وسط الناظر، فترى تلك النقطة في جميع المرآة مشتملة على بسيطها؛ ثم يبتدأ في الصغر، إذا خرج البصر عن المركز، ولا يزال يرى مقلوبًا متزيداً في الصغر حتى لا يرى لصغره. ففي أوّل بعده عن المرآة يرى مستوي الصورة عظيمًا؛ فإذا زاد بعده عن المرآة، رئي متزيد العظم حتى يقرب من مركز المرآة، فيرى له ثلاث أعين؛ فإذا زاد قربًا إلى المركز، رئي له أربع أعين، ثم لا يرى البتة لشمول نقطة البصر على جميع وجه المرآة وذلك إذا صار على المركز؛ فإذا جاز المركز وكان بعده عنه يسيراً، رئي له ثلاث أعين وأنفان ورئي مع ذلك مقلوبًا متزيداً في الصغر حتى يخفى عن البصر البتة.

وعلل جميع هذه المناظر هي العلل التي ذكرناها في الأبواب التي تقدّمت. ولنعد صورة تلك الأشكال مجموعة في رسم واحد لنبين بذلك جميع هذه المعاني في صورة واحدة.

6 كرتها: كرته / ثلاث: ثلاثة.

Imaginons un miroir concave à concavité sphérique sur lequel il y a *ADCFB* ; le diamètre de sa sphère est *CM* et le centre de sa sphère est le point *U* ; que l'œil soit d'abord au point *P*, les visibles sont sur la droite *TV* et le rayon émergeant de l'œil, qui est en *P*, vers le miroir, est le rayon *PD*, *PF* ; que sa réflexion soit suivant les droites *DT* et *FV* ; le
92v visible qui est sur *TV* est vu par l'œil qui est en / *P*, sous l'angle *DPF*. Or nous avons montré précédemment[45] que les visibles qui sont vus sous l'angle *DPF* sont vus dans le miroir concave sous une forme plus grande que celle dans laquelle ils sont vus dans le miroir à surface plane, et que les visibles sont vus dans le miroir plan de la même grandeur que celle à laquelle ils sont vus sans miroir, donc les visibles qui sont vus sous l'angle *DPF* sont vus plus grands que leur grandeur réelle ; c'est pourquoi le visage est vu par l'œil qui est en *P* sous une forme plus grande que sa forme réelle.

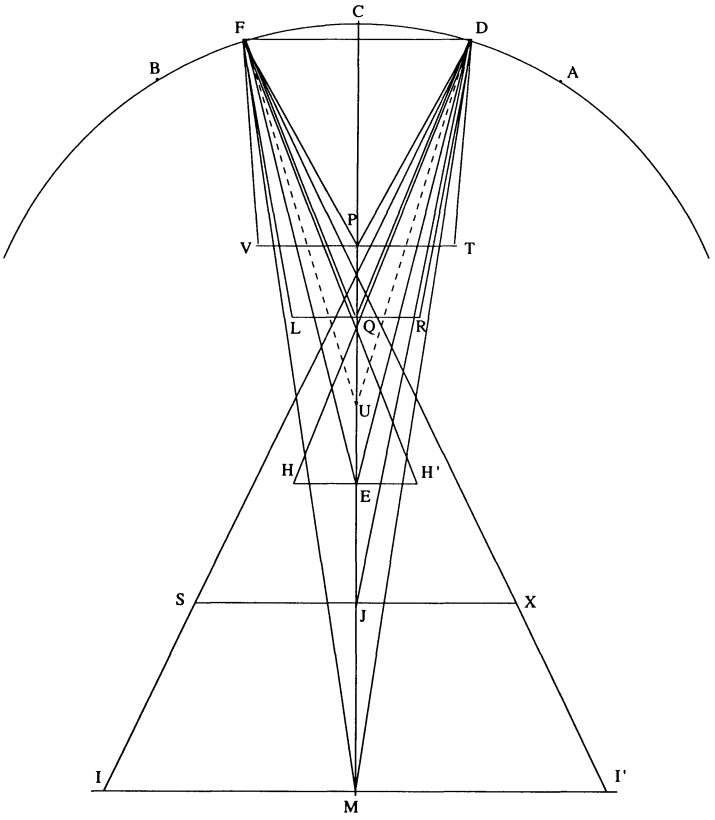
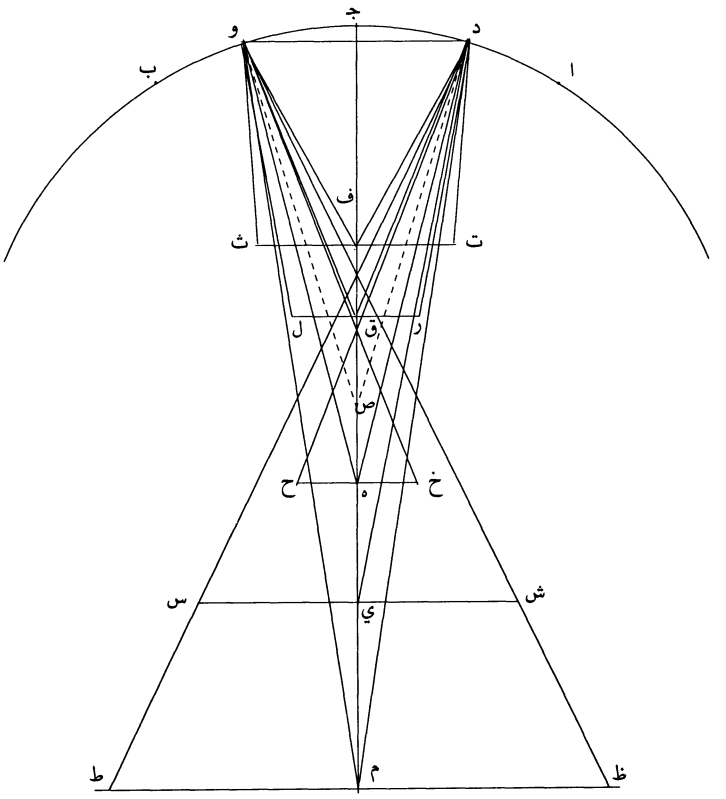


Fig. 13

[45] Voir chapitre 24.

فلنتوهم مرآة مقعرة تقعيراً ‹كريًا› عليها ا د جـ و ب، وقطر كرتها جـ م ومركز كرتها نقطة ص؛ وليكن البصر أوّلاً على نقطة ف، والمبصرات على خط ت ث والشعاع المنبث من البصر الذي على ف إلى المرآة شعاع ف د ف و، وانعكاسه على خطي د ت و ث، فيكون المبصر الذي على ت ث يراه البصر الذي على / ف بزاوية د ف و. وقد بينا فيما تقدّم أن المبصرات ٩٢-ظ التي تبصر بزاوية د ف و ترى في المرآة المقعرة في صورة أعظم من الصورة التي ترى فيها في المرآة المستوية البسيط، وأن المبصرات ترى في المرآة المستوية في مقدارها الذي ترى فيه بغير مرآة، فالمبصرات التي ترى بزاوية د ف و ترى في أعظم من مقاديرها الحقيقية؛ ولذلك يرى الوجه بالبصر الذي على ف في أعظم من صورته الحقيقية.



3 ف: لا يفرق الناسخ بين الحروف التالية: و، ق، ف – 4 خطي: خط – 5 يراه: يرى – 9 ترى: وبرى / مقاديرها: مقدارها.

Supposons que l'œil s'est éloigné du point *P* pour venir au point *Q*, qui est entre le centre qui est en *U* et l'œil qui était au <point> *P*, et que les visibles sont sur la droite *RL*, et la droite *RL* passe par le point *Q* ; le rayon mené du point *Q* au miroir *AB* entre les deux droites *DQ* et *FQ* se réfléchit entre les deux droites *DR* et *FL* ; donc les visibles qui sont sur *RL* sont vus sous l'angle *DQF* et par le rayon qui est entre les deux droites *DR* et *FL* ; or nous avons montré précédemment que les visibles qui sont vus sous l'angle *DPF* sont vus sous une forme plus grande que la forme sous laquelle sont vus les visibles sous l'angle *DQF* : le visage qui est sur la droite *RQL* est vu sous une forme plus grande que la forme sous laquelle il est vu sous l'angle *DQF*. On a donc montré que le visage, s'il s'approche du miroir *AB*, est vu sous une forme plus grande que sa forme réelle et si le miroir s'en éloigne à une distance plus grande, le visage est vu sous une forme plus grande que la forme dans laquelle il est vu d'abord. Supposons également que l'œil s'est éloigné du point *Q* pour venir au point *U* qui est le centre de la surface du miroir, alors le rayon mené du point *U*, qui est l'œil, vers le miroir, est donc entre les deux droites *UD* et *UF*. Mais nous avons montré précédemment que le rayon mené du centre de la surface du miroir se réfléchit sur lui-même, car il rencontre le miroir suivant deux angles égaux[46] ; sa réflexion n'a donc pas d'angle, et le visage n'est pas vu du tout dans le miroir. Et on voit la couleur du miroir différente, penchant parfois vers la couleur composée de la couleur du miroir et de la couleur du noir de la pupille, et parfois penchant vers la couleur composée de la couleur du miroir et de la couleur du blanc de l'œil ; et puisque la position de l'œil est sur le point du centre, alors en raison du resserrement de la réflexion du rayon sur lui, il se réfléchit, sur le visage, de chaque œil, un rayon, et on voit donc dans le miroir trois yeux. Si l'œil se rapproche très fort du centre, alors la réflexion du rayon sur le visage sera plus forte et on voit quatre yeux et deux nez et on voit les autres parties du visage doubles ; ceci se produit s'il dépasse le centre d'une faible grandeur, alors on voit les parties du
93r visage doubles, mais en plus du doublement / de ses parties vues dans le miroir, il sera vu inversé. Si l'œil s'éloigne du centre à une distance plus grande, le visage sera vu inversé, ayant trois yeux et deux nez, par la même cause par laquelle il a été vu avant que l'œil soit placé au centre ayant trois yeux et deux nez, et il devient de plus en plus petit, comme il était d'abord, et sa grandeur n'augmente pas et il continue à décroître et on le voit ayant deux yeux seulement jusqu'à ce qu'il disparaisse complètement. En effet, si nous plaçons l'œil au point *E*, le rayon sort de

[46] C'est-à-dire adjacents.

ولننزل أن البصر قد تباعد عن نقطة ف حتى صار على نقطة ق <و>هي بين المركز الذي على ص والبصر الذي كان على ف والمبصرات على خط ر ل وخط ر ل يجوز على نقطة ق، فالشعاع يخرج من نقطة ق إلى مرآة ا ب بين خطي د ق و ق وينعكس على خطي د ر و ر ل، فالمبصرات التي على ر ل ترى بزاوية د ق و وبالشعاع الذي بين خطي د ر <و ل>؛ وقد بينا فيما تقدم أن المبصرات التي <ترى> بزاوية د ف و ترى في صورة أعظم من الصورة التي ترى فيها المبصرات بزاوية د ق و، فالوجه الذي على خط ر ق ل يرى في صورة أعظم من الصورة التي يرى فيها بزاوية د ق و. فقد تبين أن الوجه إذا قرب من مرآة ا ب رئي في صورة أعظم من صورته الحقيقية، وإذا بعدت المرآة عنه بعداً أكثر، رئي الوجه في صورة أعظم من الصورة التي كان يرى فيها أوّلاً. ولننزل أيضًا أن البصر قد بعد عن نقطة ق حتى صار على نقطة ص التي هي مركز بسيط المرآة، فيكون الشعاع الخارج من نقطة ص، التي هي البصر، إلى المرآة على خطي ص د ص و. وقد كنّا بيّنا فيما تقدّم أن الشعاع الذي يخرج من مركز بسيط المرآة ينعكس على ذاته لأنه يلقى المرآة على زاويتين متساويتين، ولا يكون لانعكاسه زاوية، فلا يرى الوجه في المرآة البتة. ويرى لون المرآة مختلفًا مائلاً تارة إلى اللون المؤلف من لون المرآة ولون سوداء الحدقة وتارة مائلاً إلى اللون المؤلف من لون المرآة ولون بياض العين. ولأن البصر وضعه على نقطة المركز فلضيق انعكاس الشعاع عليه، ينعكس على الوجه من كل واحدة من العينين شعاع، فيرى في المرآة ثلاث أعين. فإذا قرب إلى المركز قربًا أشدّ، يكون انعكاس الشعاع على الوجه أقوى، فيرى أربع أعين وأنفان وترى سائر أجزاء الوجه مضعفة ويعرض مثل ذلك إذا تجاوز المركز بمقدار يسير فيرى الوجه مضعف الأجزاء، إلا أنه مع تضعيف / أجزائه التي ترى في المرآة يرى مقلوبًا. فإذا بعد البصر عن المركز ٩٣-و بعداً أكثر، رئي مقلوبًا ذا ثلاث أعين وأنفين، للعلّة <التي> كان يرى لها قبل وضع البصر على المركز ذا ثلاث أعين وأنفين، ويزداد صغره كما كان أوّلاً <ولا> يزداد كبره ولا يزال صغره يزداد ويرى له عينان فقط إلى أن يخفى البتة. وذلك أنا إذا جعلنا البصر على نقطة ه خرج الشعاع منها إلى المرآة

3 وخط ر ل: او خط ولا – 4 ر ل: و لا – 7 ر ق ل: و لا – 8 د ق و: ل ف و – 10 الوجه: اى – 14 مركز: مركزه – 18 لأن: وان – 19 واحدة: واحد – 21 وأنفان: وانفين.

lui vers le miroir entre les deux droites *DE* et *EF* et se réfléchit entre les deux droites *DH* et *FH'* ; sa réflexion sera donc du côté opposé à celui à partir duquel il a émergé. Et si on place l'œil sur le point *J* pour que le rayon mené au miroir soit entre les deux droites *JD*, *JF* et se réfléchit sur les deux droites *DS* et *FX*, alors l'angle suivant lequel se propage le rayon est plus petit que l'angle *E*, sa réflexion est plus ouverte, et on voit à la suite de son inversion, le visage de plus en plus petit. Si on place l'œil au point *M* pour que le rayon mené de l'œil au miroir soit entre les deux droites *MD* et *MF* et que sa réflexion soit entre les droites *FI'* et *DI*, alors on le voit sous l'angle *DMF*, d'une forme plus petite que celle où on le voyait sous l'angle *DJF*, car le rayon qui se réfléchit entre les droites *ID*, *FI'* est plus ouvert que le rayon qui s'est réfléchi entre les droites *FX*, *DS*. Et ainsi, de la même manière, le visage continue à être vu dans le miroir *AB* de plus en plus petit et inversé, une fois qu'il dépasse le centre sur lequel il y a *U*, jusqu'à ce qu'il disparaisse à la vue et ne soit plus vu du tout en raison de sa petitesse.

Ainsi sont devenues manifestes les causes de toutes les formes sous lesquelles le visage est vu dans le miroir que j'ai retenu pour le Prince. À Dieu, qui a générosité, sagesse et puissance, qui règne sur la justice et dispense la raison, Grâces soient rendues.

على خطي د ه و وانعكس على خطي د ح و خ، فيكون انعكاسه في ضدّ الجهة التي انبعث ‹منها›. وإن جعل البصر على نقطة ي حتى يخرج الشعاع إلى المرآة على خطي ي د ي و وينعكس على خطي د س و ش، كانت الزاوية التي ينفذ الشعاع عليها أصغر من زاوية ه وكان انعكاسه أكثر انفراجًا، فيرى ‹الوجه› أثر الانقلاب متزيد الصغر. فإن جعل البصر على نقطة م حتى يكون الشعاع الذي يخرج من البصر إلى المرآة بين خطي م د م و وانعكاسه على خطي و ظ د ط رئي بزاوية د م و في صورة أصغر من التي كان يرى بها بزاوية د ي و، لأن الشعاع الذي ينعكس على خطي ط د و ظ أشد انفراجًا من الشعاع الذي انعكس على خطي و ش د س. وعلى هذا المثال لا يزال الوجه يرى في مرآة آ ب متزيد الصغر مقلوبًا بعد نفوذه نقطة المركز التي عليها ص حتى يخفى عن البصر، فلا يرى البتة لصغره.

فقد ظهرت إذن علل جميع ‹الصور› التي يرى ‹فيها› الوجه في المرآة التي اتخذتها للأمير. ولله ذي الجود والحكمة والحول ولي العدل وواهب العقل الحمد.

7 و ظ د ط : و ص د ص – 8-9 خطي ط د و ظ : خط ص و ص– 14 الحمد : بعدها كلمة قد تقرأ « والصلاة »، ومن الصعب فصل الكلمتين.

APPENDICE III

IBN ʿĪSĀ : MIROIRS ARDENTS ET CATOPTRIQUE

Le livre de l'optique et des miroirs ardents d'après la doctrine d'Euclide sur les causes de la vision, d'Aḥmad ibn ʿĪsā, n'a jusqu'ici fait l'objet, ni en totalité ni en partie, d'une édition. Quant aux études qui lui ont été consacrées, rien de bien substantiel, simplement quelques références rapides. Le livre est important, certes, mais son prestige tient moins à son auteur qu'aux sources par lui compilées : nous avons rencontré, entre autres, la *Rectification*, les *Grandeurs immergées dans l'eau*, les traces d'un écrit d'al-Kindī sur les miroirs ardents, ainsi que de sa *Catoptrique*. Ces derniers traités sont pour l'heure introuvables, s'ils ne sont pas perdus. Il fallait donc donner ici une édition du chapitre d'Ibn ʿĪsā où nous croyons avoir repéré les traces d'al-Kindī. Dans ce chapitre – le fait retiendra l'intérêt des historiens – sont étudiées à la fois les propriétés anaclastiques et les propriétés catoptriques des miroirs. L'édition critique donnée ici a été faite à l'aide de trois manuscrits du livre d'Ibn ʿĪsā, les seuls connus à ce jour. Ces manuscrits appartiennent à trois traditions manuscrites indépendantes.

Le premier manuscrit est le 789/934 de la Bibliothèque Ragip Paşa d'Istanbul. Ce manuscrit est de 140 + 4 folios, chacun de 14,5 × 21,2 (100 × 160) mm. Le lieu et la date de la copie n'ont pas été mentionnés. Le manuscrit porte des traces d'humidité.

Le copiste a transcrit le texte en *naskhī* oriental, et a tracé les figures ; il a ajouté en marge quelques corrections au cours de la copie, mais on ne peut en conclure qu'il a révisé l'ensemble sur le modèle. La copie pourrait être du XIVe siècle, mais rien ne l'assure.

Ce manuscrit a subi un accident au cours de son histoire : plusieurs folios ne sont pas à leur place, et il en manque un. On a l'ordre suivant :

56 → 66 → 75 → 57 → 67 - 74 → folio manquant → 56 - 65 → 76.

La numérotation des folios ne rend pas compte de cet accident ; elle est donc récente et erronnée.

Le second manuscrit est le 2759 de la collection Laleli de la Bibliothèque Süleymaniye d'Istanbul. Ce manuscrit, que nous avons consulté sur microfilm, est de 155 folios. La copie est en *naskhī*, et le copiste ne mentionne ni la date ni le lieu de la transcription. On sait seulement qu'en 870 / 1465-6 le manuscrit était en possession d'un certain Muḥammad ibn Abī al-Fatḥ al-Ṣūfī. Mais, cette fois encore, rien n'indique que le copiste a révisé la copie sur son modèle.

Le troisième manuscrit est écrit en caractères hébraïques. C'est le 378 Heb. de la Bibliothèque du Vatican, que nous avons consulté sur microfilm[1].

[1] Y. Tzvi Langermann : "Arabic Writings in Hebrew Manuscripts : A Preliminary Relisting", *Arabic Sciences and Philosophy*, 6.1 (1996), p. 137-160, à la p. 143.

Je remercie M. Tony Lévy, chargé de recherche au CNRS, d'avoir bien voulu m'aider à lire ce manuscrit.

TEXTE ET TRADUCTION

Fragment du Livre de l'optique et des miroirs ardents composé par Aḥmad ibn ʿĪsā d'après la doctrine d'Euclide sur les causes de la vision

Fiqra min Kitāb al-manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa min taʾlīf Aḥmad ibn ʿĪsā ʿalā madhhab Uqlīdis fī ʿilal al-baṣar

LIVRE DE L'OPTIQUE ET DES MIROIRS ARDENTS COMPOSÉ D'APRÈS LA DOCTRINE D'EUCLIDE SUR LES CAUSES DE LA VISION PAR AḤMAD IBN ʿĪSĀ

R-29r L-48v O-32v Exposons maintenant la cause par laquelle les miroirs embrasent et par laquelle nous voyons le visage très grand dans un miroir ardent.

<1> Commençons d'abord par montrer comment le rayon se réfléchit à R-29v partir des deux côtés du miroir / vers le point qui est le centre du miroir – miroir limité par les deux côtés et par l'angle entouré par les deux côtés[1].

Prenons pour cela un exemple que l'on perçoit par la sensation : / L-49r Supposons une portion d'arc de cercle sur laquelle il y a *A*, *B*, *C*. Menons O-33r du <point> *B* deux droites / qui coupent l'arc *ABC* aux deux points *D* et *E* et supposons la distance *BD* égale à la distance *BE*. Menons de *B* au centre du cercle un diamètre, soit la droite *BIH*, et supposons *I* le centre du cercle. Les deux rayons menés du soleil aux deux points *D* et *E* des deux droites *BD* et *BE* sont les deux rayons *FD* et *GE*. Menons de *D* et de *E* deux droites jusqu'à *I* qui est le centre du cercle. Les deux droites *ID* et R-30r *IE* sont donc égales, / car elles ont été menées du centre à la circonférence. Les deux angles *IBE* et *IBD* sont donc égaux et le rayon L-49v *HB* est parallèle aux deux rayons *GE* / et *FD*, car nous avons montré que ceci apparaît également à la sensation. La droite *GE* est donc parallèle à la droite *HB*. Mais la droite *BEK* est tombée sur celle-ci, l'angle *GEK* extérieur est donc égal à l'angle *IBK* intérieur, et l'angle *IEB* est donc

[1] Ibn ʿĪsā se donne deux miroirs plans rectangulaires et égaux, ayant un côté commun passant par le point *B*.

فقرة من كتاب المناظر والمرايا المحرقة
من تأليف أحمد بن عيسى
على مذهب أقليدس في علل البصر

فلنذكر الآن ما العلةُ التي لها تُحرق المرايا ونرى الوجه في ر - ٢٩ - و
المرآة المحرقة عظيماً جداً. ل - ٤٨ - ظ
ع - ٣٢ - ظ

<آ> ولنبدأ أوّلاً فنبيّن كيف ينعكس الشعاع من ضلعي المرآة /
إلى النقطة التي هي مركزُ المرآة المحيطةِ بالضلعين والزاويةِ التي يحيط ر - ٢٩ - ظ
بها الضلعان.

فنضع لذلك مثالاً يُرى حسّاً :/ وهو أن نفرض قطعة قوسٍ من ل - ٤٩ - و
دائرةٍ عليها آ ب جـ، ونُخرج من ب خطين / مستقيمين يقطعان قوس ع - ٣٣ - و
آ ب جـ على علامتي د ه، ونفرض بُعد ب د مساويًا لبُعد ب ه، ونُخرج
من ب قطراً على مركز الدائرة، وهو خط ب ط ح، ونفرض ط مركزَ
الدائرة. ويكون الشعاعانِ الخارجانِ من الشمس إلى علامتَيْ د ه من
خطي ب د ب ه شعاعَيْ و د ز ه. ونُخرج من د ومن ه خطين
مستقيمين إلى ط، التي هي مركزُ الدائرة. فخطّا ط د ط ه متساويان /
لأنهما خرجا من المركز إلى المحيط. فزاويتا ط ب ه ط ب د ر - ٣٠ - و
متساويتان وشعاعُ ح ب موازي شعاعَيْ ز ه / و د، لأنّا قد بينّا أن ل - ٤٩ - ظ
ذلك في الحسّ كذلك. فخط ز ه موازٍ لخط ح ب. وقد وقع عليه خطُّ
ب ه كـ المستقيم، فزاويةُ ز ه كـ الخارجةُ مساويةٌ لزاوية ط ب كـ

4 التي لها : الذي بها [ع] – 7 مركز المرآة : نجد في هامش [ر] بخط آخر فوقها «صوابه مركز الدائرة» – 8 الضلعان : الضلعين [ر] – 12-13 وهو ... الدائرة : ناقصة [ع] – 13 ويكون الشعاعان الخارجان : وتكون الشعاعات الخارجات [ل] – 14 خطي : خط [ر، ل] – 15 التي : الذي [ع] / ط د : ط ر [ل] – 16 ط ب د : أثبتها فوق السطر [ر] – 17 موازي : مواز [ل] / أن : ناقصة [ع] – 18 في الحسّ ... موازٍ : ناقصة، وترك لها فراغًا [ل] / موازٍ : موازي، ولن نشير إليها فيما بعد [ر].

égal à l'angle *GEK* ; par conséquent le rayon *GE* se réfléchit suivant la droite *EI* vers le point *I* qui est le centre. Par ce procédé, nous montrons que le rayon *FD* se réfléchit suivant la droite *DI* vers le point *I*.

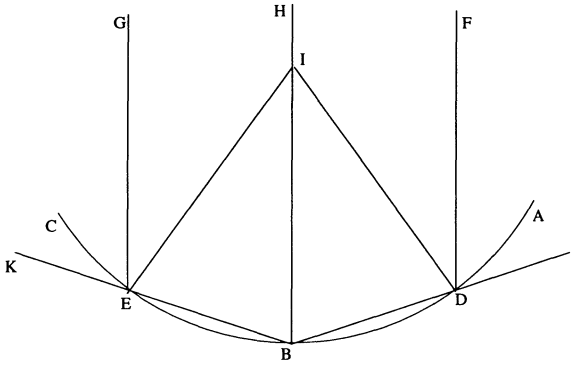


Fig. 1

On a ainsi montré que les deux extrémités du rayon <tombant sur> le miroir *DBE* ayant des côtés droits menés de ses extrémités au centre qui est le point *B*[2], se réfléchissent[3] des deux points *D* et *E* vers son centre qui est le point *I*. Ce qu'il fallait démontrer.

< 2 > De même, nous montrons maintenant comment le rayon du soleil se réfléchit également à partir des miroirs ardents jusqu'à la position de l'embrasement qui est au quart du diamètre du cercle.

Disons donc que tout miroir dont l'arc <est un tiers de cercle> – par
R-30v son arc, / je veux dire la ligne qui le sépare en deux moitiés au point / du
L-50r centre de son cercle, qui est l'arc sous-tendu par le diamètre du cercle du miroir – réfléchit les premiers rayons[4] des deux extrémités vers le centre du miroir, c'est-à-dire le point dont la distance à <tout point de> la circonférence du cercle <du miroir> est la même si son gabarit est cette[5] portion de cercle, je veux dire par ce gabarit, celui sur lequel est construit le miroir pour embraser. Quant au dernier rayon se réfléchissant de ce

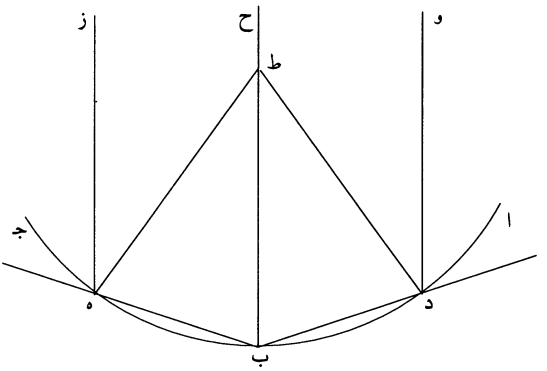
[2] Litt. : "qui est le point *I*" ; mais il s'agit ici du centre du miroir qui est le point *B*.

[3] Litt. : se réfléchit, sous-entendu "le rayon".

[4] Le terme *shu'ā'* est un terme générique. Il est employé parfois comme pluriel au sens de faisceau, parfois comme singulier. Nous traduisons selon le sens.

[5] Litt. : une.

الداخلة، فزاويةُ ط ه ب مساويةٌ لزاوية ز ه ك، فإذاً شعاعُ ز ه انعكس على خط ه ط إلى علامة ط التي هي المركز. وبهذا التّدبيرِ نبيّنُ أن شعاع و د انعكس على خط د ط إلى علامة ط.



فقد تبيّن أن نهايتَيْ شعاعِ مرآة د ب ه ذات الأضلاع المستقيمة الخارجة من نهايتيها إلى المركز الذي هو علامة ط، فإنه ينعكس من علامتَيْ د ه إلى مركزها الذي هو علامة ط؛ وذلك ما أردنا بيانه.

<ب> وأيضًا، نبيّن الآن كيف ينعكس شعاعُ الشمس أيضًا من المرايا المُحرقة إلى موضع الإحراق، وهو رُبع قطر الدائرة.

فلنقل: كلُّ مرآةٍ قوسُها <ثلث دائرتها> – أعني بقوسها/ الخطَّ الفاصلَ لها بنصفين على نقطة / مركز دائرتها، وهي القوسُ التي يُوترها قطرُ دائرة المرآة – فإنها تعكس الشعاع الأول من نهايتيها على مركز المرآة، أعني النقطة التي بُعدُها من محيط الدائرة بُعدٌ واحدٌ، إذا كانت مسطرتُها قطعةً من دائرة، أعني بهذه المسطرة التي تُعمل عليها المرآة لتُحرق. وأما آخر شعاع ينعكس منها، وهو الذي ينعكس من

ر – ٣٠ – ظ
ل – ٥٠ – و

1 لزاوية: زاوية [ل] / فإذاً: كتبها ناسخ [ل] «فإذن» ولن نشير إليها فيما بعد – 2 التي: الذي [ع] / نبين: بين [ر] تبين [ع] – 3 على: مكررة [ر] – نجد بخط آخر تحت الشكل «هذه المرآة ذات الأضلاع المستقيمة» – 4 تبين: بين [ر] – 5 نهايتيها: نهايتها [ر، ل، ع] / علامة ط: الصحيح هو نقطة ب مركز المرآة – 6 علامتي د ه: علامة د ه [ل] – 8 الدائرة: الاحراق [ر، ل]، وكتبها ناسخ [ل] «الاخراق» ولن نشير إليها فيما بعد – 10 التي: الذي [ع] – 11 يوترها: توترها [ل] / نهايتيها: نهايتها [ر، ل، ع] – 12 مركز المرآة: نجد بخط آخر في هامش [ر] «صوابه مركز الدائرة» / التي: الذي [ع] / بعد واحد: بعدا واحدا [ر، ل].

miroir, celui qui se réfléchit de son centre, il tombe sur le centre du cercle dont le gabarit est une portion, je veux dire qu'il se réfléchit sur lui-même.

Exemple : Supposons le cercle *ABCD* le cercle dont le gabarit du miroir est le tiers. Menons dans ce cercle les deux diamètres *AC* et *BD* qui se coupent suivant des angles droits au centre du cercle au point *E*. Supposons l'arc, l'arc *FCG*, et supposons que le point *C* le sépare en deux moitiés.

Je dis que les rayons menés du soleil jusqu'en *F* et jusqu'en *G* se réfléchissent au point *C*. /

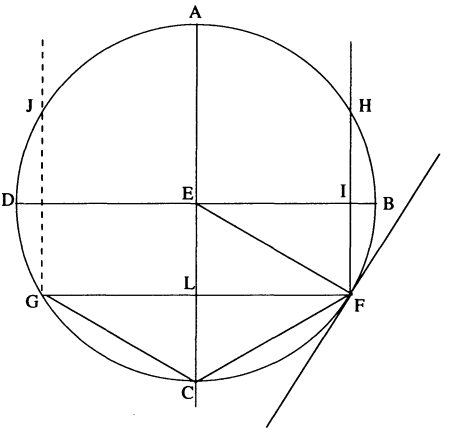


Fig. 2

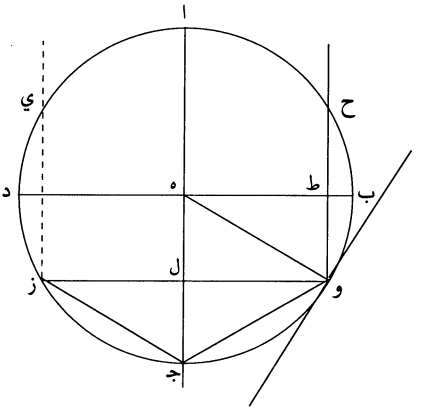
R-31r L-50v *Démonstration* : / L'arc *FC* est un sixième du cercle *ABCD*, il reste de l'arc *BC* l'arc *BF* qui est la moitié d'un sixième <de cercle>. Le rayon mené du soleil au <point> *F* coupe par conséquent l'arc *AB* au point *H* ; mais les rayons se propagent à partir du soleil suivant des droites parallèles, dans la sensation, d'après ce que nous allons rappeler à l'endroit approprié, si Dieu le Très-Haut le veut.

La droite *HF* est donc parallèle à la droite *AC* qui est le rayon mené du soleil au <point> *C* ; mais *AC* coupe le diamètre du cercle, qui est *BD*, suivant des angles droits. La droite *HF* coupe donc la droite *BD* suivant

مركزها، فإنه يقع على مركز الدائرة التي مَسْطرتها قطعةٌ منها، أعني ينعكس على نفسه.

مثالُ ذلك: أن نفرض دائرة ا ب جـ د الدائرة التي مسطرةُ المرآة ثلثها، ونُخرج فيها قطري ا جـ ب د يتقاطعان على زوايا قائمة على مركز الدائرة عند علامة هـ، ونفرضُ القوسَ قوسَ و جـ ز، ونفرض علامة جـ تفصلُها بنصفين.

فأقول: إن الشعاع الخارجَ من الشمس إلى وَ وإلى زَ ينعكس إلى علامة جـ./



برهان ذلك:/ أن قوس و جـ سدس دائرة ا ب جـ د، فيبقى من قوس ب جـ قوس ب و وهي نصف سدس. فإذاً الشعاع الخارج من الشمس إلى وَ يقطع قوس ا ب على علامة حَ، والشعاع يخرج من الشمس على خطوط متوازية في الحسّ، لِما سوف نخبر به في موضعه الأخصّ به، إن شاء الله تعالى. ر - ٣١ - و / ل - ٥٠ - ظ

فخط حَ و موازٍ لخط ا جـ الذي هو الشعاع الخارج من الشمس إلى جـ، وا جـ يقطع قطر الدائرة - الذي هو ب د - على زوايا قائمة. فإذاً خط حَ و يقطع خط ب د على زوايا قائمة عند علامة طَ. فإذاً خط و طَ

3 التي: ناقصة [ع] - 9 ا ب جـ د: ا ب جـ [ر، ل، ع]، وأثبت ناسخ [ر] الدال فوقها / فيبقى: فيبقا، ولن نشير إليها فيما بعد [ر، ل] - 10 سدس: نجد في [ر] فوقها بخط آخر «الدائرة»، أي سدس الدائرة - 12 سوف: ناقصة [ع] - 13 تعالى: ناقصة [ل] - 15 الدائرة: المرآة [ر، ل] ونجد في [ر] بخط آخر في الهامش «صوابه الدائرة» - 16 و ط: طَ و [ع].

des angles droits au point *I*. La droite *FI* est donc égale à la droite *HI* et ainsi la droite *HIF* est également la corde du sixième. Les droites qui coupent un même cercle de sorte que les angles de ces portions soient égaux, font des portions égales. Mais les rayons se réfléchissent suivant des angles égaux, donc le rayon *HF* se réfléchit suivant une droite qui fait
R-31v
O-33v
L-51r
l'angle / de sa portion / égal à l'angle de la portion entourée par la corde / *HF* et par l'arc *HBF*, donc la portion entourée par le rayon réfléchi de la droite *HF* – étant donné qu'on fait son angle qui est au point *F* égal à l'angle *F* – est égale à la portion que nous avons déterminée. Les deux portions sont par conséquent égales, leurs arcs sont égaux et leurs cordes sont égales.

Pour la portion dont le commencement est le point *F* dans la direction de *C*, son arc qui est de *F* à *C* est donc égal à l'arc *FH*. Mais l'arc *FH* est un sixième de cercle, donc l'arc *FC* est un sixième de cercle, donc la portion entourée par l'arc *FC* et la droite *CF* est la portion dont la corde
L-51v
est la droite *CF* qui est le rayon *HF* / réfléchi de *F* en *C*, car les rayons se réfléchissent suivant des angles égaux comme nous l'avons montré. L'angle entouré par la droite *CF* et l'arc *FC* est donc égal à l'angle entouré par la droite *HF* et l'arc *FH*. On a donc montré que le rayon *HF* se réfléchit suivant *CF* et que le rayon *AC* se réfléchit sur lui-même,
R-32r
puisque l'angle *ACF* / est égal à l'angle *ACG*.

Le dernier des rayons qui se coupent est donc au milieu de la droite *CE*, au point *L*, puisque le réfléchi sur l'arc *CG* est comme le <rayon> réfléchi sur l'arc *CF*, par le même procédé que précédemment. Cependant le <rayon> réfléchi sur l'arc *FC* se réfléchit dans la direction de *G* et le <rayon> réfléchi sur l'arc *CG* se réfléchit dans la direction de *F*. Les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de *A* le feront donc au point *L*, et les derniers d'entre eux qui se coupent dans la direction de

مثل خط ح ط، فإذاً خط ح ط و هو وتر السدس أيضًا. والخطوط التي تقطع دائرةً واحدة وتكون زوايا تلك القطع متساوية تجعل القطع متساوية. والشعاع ينعكس على زوايا متساوية، فإذاً شعاع ح و ينعكس على خط يجعل زاوية / قطعته / مثل زاوية القطعة التي ر - ٣١ - ظ
ع - ٣٣ - ظ
يُحيط بها وتر/ ح و وقوس ح ب و، فإذاً القطعة التي يحيط بها ل - ٥١ - و
الشعاع المنعكس من خط ح و - إذ تجعل زاويتها التي عند علامة وَ مثل زاوية وَ - مثل القطعة التي حددنا. فإذاً القطعتان متساويتان، وقوساهما متساويتان، ووتراهما متساويان.

فإذاً القطعة التي مبتدؤها علامة وَ إلى جهة جَ قوسُها التي من وَ إلى جَ مساويةٌ لقوس و ح. وقوس و ح سدس الدائرة، فقوس و جَ سدس الدائرة، فإذاً القطعة التي يحيط بها قوس و جَ وخط جَ و، هي التي وترها [الذي] هو خط جَ و <و>هو شعاع ح و <الذي>/ انعكس ل - ٥١ - ظ
من وَ إلى جَ، لأن الشعاعات تنعكس على زوايا متساوية كما بيّنا. فالزاوية التي يحيط بها خط جَ و وقوس و جَ مساويةٌ للزاوية التي يحيط بها خط ح و وقوس و ح. فقد تبيّن أن شعاع ح و ينعكس على جَ و وأن شعاع ا جَ ينعكس على نفسه، لأن زاوية ا جَ و / مساوية ر - ٣٢ - و
لزاوية ا جَ ز.

فإذاً آخر الشعاعات المتقاطعة يكون على نصف خط جَ ه عند علامة لَ، لأن المنعكس من قوس جَ ز مثل المنعكس من قوس جَ و بمثل التدبير الذي تقدم. إلا أنّ المنعكس من قوس و جَ ينعكس إلى جهة زَ والمنعكس من قوس جَ ز ينعكس إلى جهة وَ. فآخر شيء يتقاطع منها من جهة آ على نقطة لَ، وآخر شيء يتقاطع منها من جهة جَ على نقطة

1 ح ط: ط ح [ع] / فإذاً: وإذا [ر] / ح ط و: ح و [ع] - 4 التي: الذي [ع] - 5 يحيط: تحيط [ر] / وتر ... بها: مكررة [ل] / وقوس ح ب و: أثبتها في الهامش [ر] - 7 مثل (الثانية): من [ل، ع] / القطعتان: القطعتين [ر، ل] / متساويتان: متساويتين [ل] - 8 متساويتان: متساويين [ل] - 10 و ح (الأولى والثانية): و جَ [ر] - 11 وخط: وقوس [ع] / هي: مكررة [ل] - 14 وقوس و جَ: أثبتها في الهامش [ر] - 15 ح و: جَ و [ر، ل] / و ح: و جَ [ر، ل] / ح و: جَ و [ر] - 16 جَ و: جَ [ل] - 18 آخر: اكثر [ل، ع] - 21 شيء: نجد في هامش [ر] بخط آخر «شعاع»، وهو المقصود - 22 من جهة ... منها: ناقصة [ل] / لَ: هَ [ر] / شيء: نجد في هامش [ر] بخط آخر «شعاع»، وهو المقصود.

C le feront au point *C*, je veux dire ceux qui ont coupé les rayons, tous les rayons différents du côté de *CF* dans la direction de *GC* et du côté de *GC* dans la direction de *CF*.

L-52r R-32v Par conséquent, la dernière / des positions <atteinte> par ces rayons, là où l'intersection est la plus dense, est le milieu qui / est au point *L* ; c'est dans cette position qu'a lieu l'embrasement. Ce qu'il fallait démontrer.

<3> Nous montrons cela également d'une autre manière pour que cela soit perçu par la sensation.

Nous disons : si on mène dans un cercle de l'une des extrémités de son diamètre deux droites qui le coupent dans deux directions différentes en deux points dont la distance à l'extrémité du diamètre à partir de laquelle elles ont été menées est la même, si on fait en sorte que ces deux droites entourent un angle d'un gabarit avec lequel on rectifie ensuite la surface d'un miroir en mettant cet angle au centre du miroir et en le faisant ensuite tourner jusqu'à ce que les deux droites touchent sa surface dans toutes les directions, ce miroir réfléchit des rayons solaires assemblés et embrasant.

Exemple : Traçons un cercle *ABCD*, supposons la droite menée de *A* à *C* un diamètre du cercle et supposons les deux points *D* et *B* à la même distance du point *C* sur l'arc de cercle dans deux directions différentes. Menons du <point> *C* la droite *CG* qui coupe le cercle au point *D* et

L-52v menons la droite / *FC* qui coupe le cercle au point *B*.

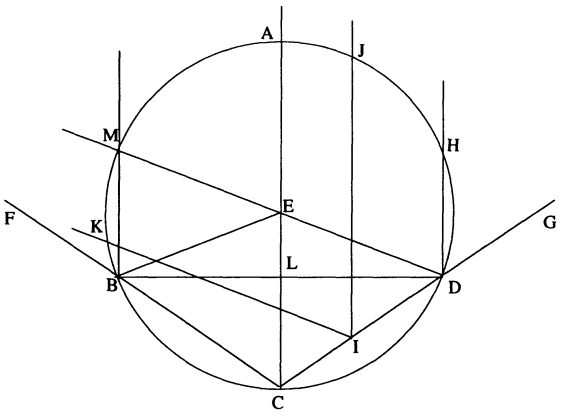


Fig. 3

جـ، أعني ما قاطع الشعاعات، كل الشعاعات المختلفة، من جهة جـ و إلى جهة ز جـ ومن جهة ز جـ إلى جهة جـ و.

فإذاً آخر/ المواضع من هذه الشعاعات وأكثفها تقاطعًا <هو> ل - ٥٢ - و الوسط الذي / هو عند علامة لـ، وفي ذلك الموضع يكون الإحراق؛ ر - ٣٢ - ظ

5 وذلك ما أردنا أن نبيّنه.

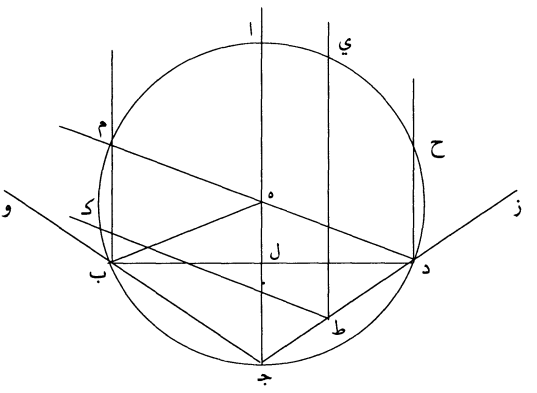
<جـ> ونبيّن هذا أيضًا بوجه آخر ليرى أيضًا حسًّا.

فنقول: إن كل دائرة أخرج من أحد طرفي قطرها خطان يقطعانها في جهتين مختلفتين على علامتين <يكون> بعدهما من طرف القطر الذي أخرجا منه بُعداً واحداً، فإن الخطين إذا صُيّرا محيطين بزاوية

10 لمسطرة ثم قوّم بها وجه مرآة، بأن توضع تلك الزاوية في مركز المرآة ثم أديرت حتى يماسّ الخطان وجهها من كل جهة، فإن تلك المرآة تعكس شعاعًا شمسيًا مجتمعًا محرقًا.

مثال ذلك: أن نرسم دائرة ا ب جـ د ونفرض الخط الخارج من آ إلى جـ قطراً لدائرة ونفرض علامتي دَ بَ متباعدتين عن جـ بعداً واحداً على

15 قوس الدائرة في جهتين مختلفتين. ونخرج من جـ خط جـ ز يقطع الدائرة على علامة دَ ونخرج خط / و جـ يقطع الدائرة على علامة بَ. ل - ٥٢ - ظ



3 آخر: اكثر [ل، ع] – 4 الوسط: الواسط [ع] / هو: ناقصة [ع] – 5 ما: ناقصة [ر] / أن نبينه: ناقصة [ر، ل] – 7 إن: ناقصة [ر، ل] / خطان: خطين [ر، ل، ع] – 9 محيطين: محيطان [ر، ل] – 10 في: من [ع] – 11 الخطان: الخطين [ر، ل، ع].

R-33r Je dis que les deux droites *DC* / et *BC* réfléchissent des rayons qui se réunissent, se coupant les uns les autres dans un même plan.

Démonstration : Le rayon mené du soleil – lorsque le soleil est reçu par le miroir dont l'intérieur a été rectifié par la ligne *DC*, *CB* qui est le O-34r gabarit de sorte que la droite menée de son centre, qui est *E*, au / point *C*, sépare l'angle *BCD* en deux moitiés – au <point> *D*, se réfléchit de *D* vers *E* qui est le centre du cercle ; de même le rayon qui tombe en *B* se réfléchit également de *B* vers *E* qui est le centre du cercle.

Démonstration : Les deux rayons *AC* et *HD* sont parallèles dans la sensation, d'après ce qui précède, et la droite *CDG* tombe sur eux de sorte que l'angle *HDG* est égal à l'angle *ACG*. Si nous menons une droite de *D* à *E* qui est le centre, alors les deux angles *EDC* et *ECD* sont égaux, donc L-53r l'angle *EDC* est égal / à l'angle *HDG*, la droite *DE* est donc le rayon qui est réfléchi de *D* dans la direction de *E*. Par le même procédé, nous R-33v montrons que le <rayon> réfléchi de *B* / est réfléchi également vers *E*. De même tous les rayons menés suivant[6] la droite *EC* à partir du soleil se réfléchissent dans la direction de *F* et dans la direction de *K* suivant des droites parallèles à la droite *DEM*, car toutes les droites menées du soleil, comme la droite qui tombe en *I* et qui est *JI* – le point *I* appartient à *CD* – sont parallèles à la droite *HD*. De même ce qui est réfléchi est parallèle à la droite *DE,* car l'angle engendré par *JI* et *IG* est égal à l'angle *HDG*. De même pour le <rayon> réfléchi de *I* dans la direction de *F*, je veux dire la droite *IK*, l'angle engendré par les droites *CI* et *IK*, qui est réfléchie en *I*, est égal à l'angle engendré par <les droites> *ED* et *DC*, car l'angle *EDC* est égal à l'angle *HDG* et l'angle *HDG* est égal à l'angle *KIC*. Les

[6] Les rayons menés parallèlement à la droite *EC*.

فأقول: إن خطي د ج / ب ج يعكسان شعاعًا مجتمعًا يقاطع ر - ٣٣ - و
بعضه بعضًا على سطح واحد.

برهان ذلك: أن الشعاع الخارج من الشمس - إذا استقبلت الشمس بالمرآة التي قوم باطنها خط د ج، ج ب الذي هو المسطرة استقبالاً يخرج الخط الخارج من مركزها، الذي هو هَ، على / علامة ج ع - ٣٤ - و ويفصل زاوية ب ج د بنصفين - إلى دَ، فإنه ينعكس من د إلى هَ التي هي مركز الدائرة، وكذلك الشعاع الواقع على ب ينعكس من ب أيضًا على هَ التي هي مركز الدائرة.

برهان ذلك: أن شعاعي ا ج ح د متوازيان في الحسّ لما قدّمنا، وقد وقع عليهما خط ج د ز، فتصير زاوية ح د ز مساوية لزاوية ا ج ز. فإذا أخرجنا خطًا ‹من› دَ ‹إلى› هَ التي هي المركز، فإن زاويتي ه د ج ه ج د متساويتان، فإذاً زاوية ه د ج مساوية / لزاوية ل - ٥٣ - و ح د ز، فإذاً خط د ه هو الشعاع الذي ينعكس من دَ في جهة هَ. وبهذا التدبير نبين أن المنعكس من ب / ينعكس أيضًا إلى هَ. وكذلك جميع ر - ٣٣ - ظ الشعاعات التي تخرج على خط ه ج من الشمس تنعكس إلى جهة وَ وإلى جهة كَ على خطوط موازية لخط د ه م، لأن كل الخطوط التي تخرج من الشمس كالخط الواقع على طَ الذي هو ي ط - التي هي من ج د - موازية لخط ح د. وكذلك أيضًا ما يعكس موازٍ لخط د ه، لأن الزاوية التي حدثت من ي ط ط ز مساوية لزاوية ح د ز. وكذلك أيضًا المنعكس من طَ في جهة وَ، أعني خط ط ك، تصير الزاوية التي من خطي ج ط ط ك، المنعكس من طَ، مساوية للزاوية التي من ه د د ج، لأن زاوية ه د ج مساوية لزاوية ح د ز وزاوية ح د ز مساوية لزاوية

6 إلى دَ: كتب ناسخ [ر] «على» ثم صححها عليها؛ ونجد في هامش المخطوطة بيد أخرى إزاء كلمة بنصفين «فالشعاع الواقع»، مما يدلّ على أن من كتب هذا قرأ «على»، وفي أغلب الظن أنه قرأ هذا على نسخة أخرى، لأن ناسخ المخطوطة المكتوبة بالحروف العبرية كتب أيضًا «والشعاع الواقع على دَ» - 9 متوازيان: متوازيين [ر، ل] - 10 عليهما: عليها [ر، ل] - 11 خطًا: خط [ر، ل، ع] - 12 متساويتان: متساويتين [ر، ل، ع] - 13 ينعكس: انعكس [ل] / هَ: جَ [ر، ل] - 14 نبين: تبين [ل] - 15 ه جَ: د جَ [ل] - 16 الخطوط: خطوط [ع] - 17 هي: ناقصة [ع] - 21 خطي ج ط ط ك: خط ج ط ك [ر، ل] / ه د د جَ: ه د ح [ر، ل] - 22 ه د ج: ه د ح [ر] / وزاوية: فزاوية [ع] - 21-22 التي ... لزاوية (الأولى): ناقصة [ع].

L-53v rayons réfléchis / à partir de la droite *DC* tout entière sont donc réfléchis suivant des directions parallèles[7]. De même ceux qui se réfléchissent à partir de la droite *BC* sont dans des directions parallèles[8] et les deux extrémités sont les deux rayons qui sont réfléchis à partir de *B* et de *D* /
R-34r du bord du miroir. Les deux autres rayons qui sont les plus proches du point *C* de chaque côté, je veux dire du côté de *D* et du côté de *B*, passent[9] suivant deux droites parallèles aux droites *DE* et *BE*. Quant à celui qui se réfléchit à partir de la droite *BC*, il est parallèle à la droite *DE*. Quant à celui qui se réfléchit à partir de la droite *CD*, il est parallèle à la droite *BE*. La position la plus dense à partir de lui, je veux dire à partir du rayon, sur laquelle tombent ces rayons qui se coupent les uns les autres, est donc sur le plan qui sépare *CE* en deux moitiés, comme la droite *BD* au point *L*[10], et ainsi aura lieu l'embrasement du miroir ardent qui est au quart du diamètre du gabarit à partir duquel est construit ce miroir. /

L-54r On a donc montré comment les rayons se réfléchissent et se coupent
R-34v tous / sur une même surface circulaire[11], et on a montré aussi le rapport de la distance de cette surface au centre du cercle <à sa distance> aux côtés du miroir sur la droite menée de son centre à sa circonférence. Ce qu'il fallait démontrer.

<4> Montrons maintenant comment le rayon[12] mené du soleil se projette[13] sur les miroirs ardents et comment le rayon se réfléchit des miroirs ardents à la position d'embrasement. Supposons la sphère du soleil le cercle *ALBM* de centre *C* ; menons du centre la droite *CM* et prolongeons-la ; *CM* est également le demi-diamètre et est le rayon mené du centre du soleil ; supposons le miroir *ESG* de centre *D* et menons les deux rayons du soleil qui sont les rayons *AE* et *BG* au miroir *ESG*.

L-54v Je dis que les rayons / menés du soleil dont les deux côtés entourent les côtés du miroir, qui sont les deux points *E* et *G*, se projettent sur le
O-34v miroir ; / et à partir de la surface du miroir *ESG*, les rayons qui se
R-35r projettent sur lui à partir du soleil / se réfléchissent vers le point *H*[14].

Je dis que le point *H* est la position de l'embrasement, je veux dire qu'au point *H* qui est l'extrémité du rayon réfléchi du miroir *ESG*, s'il[15] tombe sur un corps quelconque embrasable et reste sur lui, il l'embrase.

---

[7] Litt. : extrémités parallèles.

[8] *Ibid.*

[9] Sont réfléchis.

[10] En général, la droite *BD* n'est pas la médiatrice de *CE* et *L* n'est pas le milieu de *CE*.

[11] La surface circulaire mentionnée ici est un cercle dans le plan médiateur de *CE*. En tout point de ce cercle se coupent deux rayons réfléchis sur la surface du miroir conique.

[12] Le faisceau des rayons solaires.

[13] Le sens propre du verbe *ṣāka* est "coller à", "s'attacher à" ; nous préférons dans ce contexte "se projetter".

[14] *H* est le milieu du rayon du gabarit (voir commentaire).

[15] Le rayon réfléchi.

كـ ط جـ. فـإذاً الشـعـاع الذي ينعكس / من خط د جـ كلّه ينعكس ل - ٥٣ - ظ
مـتـوازي النهـايتين. وكـذلك الذي ينعكس من خط ب جـ متوازي
النهايتين، ونهايتاه الشعاعان اللذان انعكسا من ب د / من حـرف ر - ٣٤ - و
المرآة. والشعاعان الآخران من أقرب الأشياء من علامة جـ من الجهتين
جميعًا، أعني مما يلي د ومما يلي ب، يمرّان على خطين موازيين لخطي د ه
ب ه. أما ما ينعكس من خط ب جـ، فموازٍ لخط د ه، وما انعكس من
خط جـ د فموازٍ لخط ب ه. فأكثف المواضع كلها منه، أعني من الشعاع
الواقع عليه هذه الشعاعات المقاطع بعضها بعضًا، فعلى السطح الذي
يفصل جـ ه بنصفين كخط ب د عند علامة ل، وثَم يكون إحراق المرآة
المحرقة وهو ربع قطر المسطرة التي تعمل المرآة منها./
فقد تبين كيف تنعكس الشعاعات وتتقاطع جميعًا / على سطح ل - ٥٤ - و
واحد مستدير، وتبين أيضًا نسبة بُعد السطح من مركز الدائرة إلى ر - ٣٤ - ظ
ضلع المرآة على الخط الخارج من مركزها إلى محيطها؛ وذلك ما أردنا
بيانه.

<د> فلنبين الآن أيضًا كيف يصاك الشعاع <الخارج> من الشمس
في المرايا المحرقة وكيف ينعكس الشعاع من المرايا المحرقة إلى موضع
الإحراق. فلنفرض كرة الشمس دائرة ا ل ب م ومركزها جـ ونخرج من
المركز خط جـ م ماراً على استقامة، وهو نصف القطر أيضًا وهو الشعاع
الخارج من مركز الشمس، ونفرض مرآة ه س ز ومركزها د، ونخرج
شعاعي الشمس إلى مرآة ه س ز وهما شعاعا ا ه ب ز.
فأقول: إن شعاع الشمس / الخارج منها المحيط جنبتيه بجنبتي ل - ٥٤ - ظ
المرآة اللتين هما علامتي ه ز قد صاك المرآة؛/ وانعكس من سطح مرآة ع - ٣٤ - ظ
ه س ز الشعاع الذي صاكها من الشمس/ إلى نقطة ح. ر - ٣٥ - و
فأقول: إن نقطة ح هي موضع الإحراق، أعني أن نقطة ح التي هي
طرف الشعاع المنعكس من مرآة ه س ز، إذا وقع على جسم ما مما

2 الذي ينعكس: المنعكس [ع] - 2-3 وكذلك ... النهايتين: ناقصة [ل] - 3 ونهايتاه: ونهايته [ر] - 4 والشعاعان الآخران: والشعاعين الآخرين [ر، ل] - 5 يمران: يمر [ر، ل] / لخطي: لخط [ر] - 6 ينعكس: نعكس [ل، ع] / د ه: ب ه [ع] - 7 ب ه: د ه [ع] - 15 يصاك: نصاك [ر] - 16 في: ناقصة [ل، ع] / المحرقة (الأولى): والمحرقة [ع] - 17 ا ل ب م: ا ل ب [ل] - 20 شعاعا: شعاعي [ر] / ب ز: ب د [ل] ب د ز [ر] - 22 اللتين: اللذين [ر، ل] - 24 التي: الذي [ل].

La <grandeur de> la distance de ces rayons réfléchis aux miroirs ardents est suivant la grandeur selon laquelle on construit le miroir. Sa distance n'est pas en raison de sa grandeur ni de sa petitesse, mais elle dépend du gabarit suivant lequel on construit le miroir. Ainsi, pour le cercle dont le gabarit est un arc, l'embrasement du miroir construit à l'aide de ce
R-35v gabarit / sera en raison de la grandeur du quart du diamètre du cercle dont le gabarit est un arc.

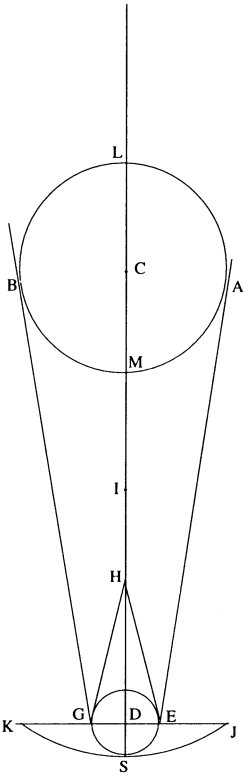
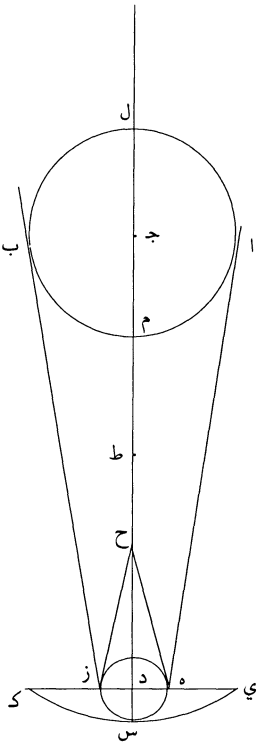


Fig. 4

Exemple : L'arc *JSK* est le gabarit suivant lequel on a construit la face du miroir *ESG* dont le centre est le point *I*. La droite *IS* est le demi-diamètre du cercle *JSK* et la droite *IH* est la moitié de la droite *IS*, donc la droite *SH* est le quart du diamètre du cercle *JSK* ; c'est pourquoi le miroir
L-55r *ESG* / embrase à la distance *SH*. De même tout miroir construit à

يحترق ودام عليه أحرقه. وهذا الشعاع المنعكس من المرايا المحرقة إنما يكون بُعده على قدر ما تعمل المرآة. ليس يكون بُعده لكبرها ولا لصغرها، وإنما هو للمسطرة التي تعمل عليها المرآة. فمن الدائرة التي تكون المسطرة قوسًا منها، يكون إحراق تلك المرآة المعمولة بتلك
5 المسطرة / على قدر ربع قطر تلك الدائرة التي تلك المسطرة قوس ر - ٣٥ - ظ منها.



ومثال ذلك: أن قوس ي س ك هي المسطرة التي عمل وجه مرآة ه س ز بها ومركزها نقطة ط. فخط ط س نصف قطر دائرة ي س ك، وخط ط ح نصف خط ط س، فخط س ح ربع قطر دائرة ي س ك؛
10 فلذلك صارت مرآة ه س ز / تحرق على بُعد س ح. وكذلك كل مرآة ل - ٥٥ - و

1 يحترق: يحرق [ر] – 4 قوسًا: قوس [ر] – 5 تلك (الثانية): ناقصة [ع] – 9 وخط ... ي س ك: ناقصة [ل] – 10 صارت: ناقصة [ع] / على: ناقصة [ع].

l'aide d'un gabarit, embrase à la grandeur de la distance du quart du diamètre du cercle dont ce gabarit est un arc.

Celui qui est géomètre sait, d'après ce que nous avons décrit, comment construire un miroir ardent, car nous avons achevé l'explication de cela pour celui qui a une connaissance de l'art de la géométrie. Ce qu'il fallait démontrer.

<5> De même, nous montrons comment un rayon d'un miroir ardent se réfléchit vers un autre miroir ardent afin que l'embrasement soit du côté du premier miroir et dans sa direction.

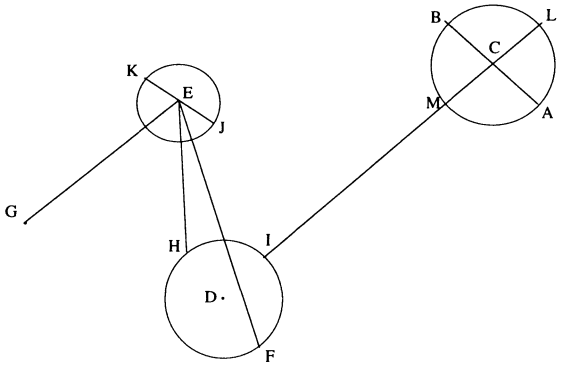


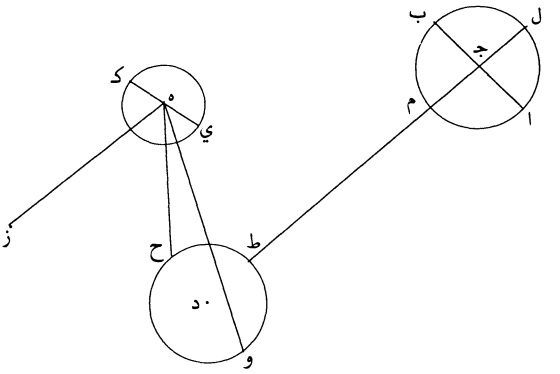
Fig. 5

Supposons la sphère du soleil le cercle *ALBM*, le centre <le point> *C* et
R-36r un diamètre de ce / cercle *ACB*, et prolongeons le diamètre *LCM* passant en ligne droite, ce qui est le rayon mené du centre du soleil. Supposons /
L-55v le miroir *FIH* dont le centre est *D* ; le rayon du miroir *FIH* se réfléchit donc vers le miroir *E* au point *E*, il se réfléchit ensuite de *E* vers *G* ; l'embrasement aura donc lieu au point *G*, il sera cependant plus faible que l'embrasement qui a lieu au point *E*, car le miroir *JK* a d'abord reçu le rayon du miroir *FIH* et l'embrasement a eu lieu dans la position *E* ; mais la position *E* ne s'embrase pas puisque le miroir est en fer poli. Le rayon se réfléchit donc à partir de lui vers *G*, c'est pourquoi l'embrasement sera
R-36v / faible au point *G*, car il est reçu de ce qu'un autre a reçu. Ce qu'il fallait démontrer.

تعمل من مسطرة فإنها تحرق على قدر ربع قطر الدائرة التي تلك المسطرة قوس منها.

فمن كان من أهل الصناعة الهندسية فقد علم مما وصفنا كيف تعمل المرآة المحرقة، لأنا قد أتينا على شرح ذلك لمن كان له معرفة بالصناعة الهندسية؛ وذلك ما أردنا بيانه.

‹ه› وأيضًا نبين كيف ينعكس شعاع مرآة محرقة إلى مرآة أخرى محرقة حتى يكون الإحراق من جهة المرآة الأولى وعلى سمتها.



فلنفرض أيضًا كرة الشمس دائرة ا ل ب م والمركز جـ وقطر هذه / الدائرة ا جـ ب، ونخرج قطر ل جـ م ماراً مستقيمًا، وهو الشعاع الخارج من مركز الشمس. ونفرض / مرآة و ط ح ومركزها د، ر - ٣٦ - و ل - ٥٥ - ظ فينعكس شعاع مرآة و ط ح إلى مرآة ه إلى نقطة ه، ثم ينعكس من ه إلى ز، فيكون الإحراق عند علامة ز، إلا أنه يكون أضعف من الإحراق الذي يكون عند علامة ه، لأن مرآة ي ك قبلت أولاً الشعاع من مرآة و ط ح، فكان الإحراق في موضع ه؛ وموضع ه لا يحترق لأنه حديد صقيل. فينعكس الشعاع منها إلى ز؛ فلذلك صار الإحراق / ضعيفًا ر - ٣٦ - ظ عند علامة ز، لأنه مقبول مما قبل من غيره؛ وذلك ما أردنا بيانه.

4 تعمل: نعمل [ع] / أتينا: أثبتنا [ر] - 5 الهندسية ... بيانه: ناقصة [ر، ل] - 6 نبين: نرى [ل، ع] / ينعكس: تعكس [ر، ل] - 7 الأولى: إلى ا [ع] - 9 ا جـ ب: ه ا جـ ب [ل] / ل جـ م: ا جـ م [ع] - 10 و ط ح: و د ط [ل] - 15 فينعكس: يعكس [ع] / ضعيفًا: ضعيف [ر، ع].

<6> De même nous montrons que le rayon se réfléchit sur les lignes droites suivant des angles égaux dans une autre direction, de même il se
O-35r réfléchit sur les lignes qui sont / des portions de circonférences de cercles de leur intérieur et de leur extérieur suivant des angles égaux.

Exemple : Supposons que la ligne *AB* est une droite qui touche une
L-56r portion d'un arc au point *C* et que l'arc est l'arc / *DCE* ; supposons que l'œil est le point *F* et que le rayon émane de *F* à *C* ; supposons l'angle *DCF* plus petit que l'angle *FCE*. Le rayon *FC* se réfléchit donc du point *C* vers une certaine position déterminée, supposons-la le point *G*.

Je dis que l'angle *DCF* est égal à l'angle *ECG*.

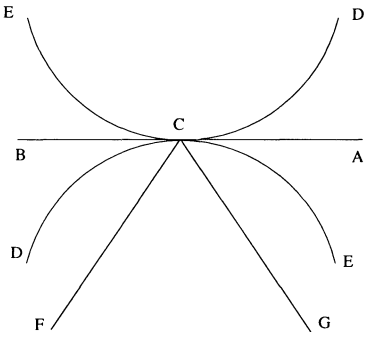


Fig. 6

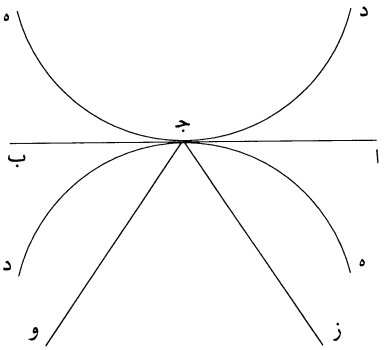
R-37r *Démonstration* : / Le point *C* est commun à la droite *AB* et à l'arc *DCE*. Par conséquent, la droite *FC* tombant au point *C* de la droite *AB* se réfléchit suivant des angles égaux, c'est-à-dire les deux angles *ACF* et *BCG*, car nous avons montré précédemment que les rayons se
L-56v réfléchissent / sur les surfaces et les lignes planes suivant des angles égaux. Mais l'arc *DCE* touche la droite *AB* au point *C*, donc les deux angles *BCE* et *ACD* sont égaux, il reste les deux angles *DCF* et *ECG* égaux. Ce que nous voulions.

Nous montrons également à partir de cette figure que si la vue tombe sur le dos de l'arc *DCE*, alors le rayon se réfléchit également suivant des angles égaux.

<ز> وأيضًا نبين أن الشعاع ينعكس من الخطوط المستقيمة على زوايا متساوية بجهة أخرى، وكذلك ينعكس من الخطوط التي هي / ع - ٣٥ - و قطع محيطات الدوائر من باطنها ومن ظاهرها على زوايا متساوية.

مثال ذلك: أن نفرض خط ا ب مستقيمًا يماسّ قطعة من قوس وهي على علامة جـ والقوس قوس / د جـ هـ، ونفرض البصر علامة و ل - ٥٦ - و والشعاع خارجًا من وَ إلى جـ، ونفرض زاوية د جـ و أصغر من زاوية و جـ ه. فشعاع و جـ ينعكس من علامة جـ إلى موضع ما محدود ونفرضه علامة زَ.

فأقول: إن زاوية د جـ و مساوية لزاوية ه جـ ز.



برهان ذلك: أن/ نقطة جـ مشتركة لخط ا ب وقوس د جـ ه. فإذاً ر - ٣٧ - و خط و جـ الواقع على نقطة جـ من خط ا ب ينعكس بزاويتين متساويتين، أعني كزاويتي ا جـ و ب جـ ز، وقد بيّنا فيما تقدم أن الشعاعات تنعكس / من السطوح والخطوط المستوية على زوايا ل - ٥٦ - ظ متساوية. فقوس د جـ ه ماست خط ا ب على نقطة جـ، فزاويتا ب جـ ه ا جـ د متساويتان، فتبقى زاويتا د جـ و ه جـ ز متساويتين؛ وذلك ما أردنا.

ونبين أيضًا من هذا الشكل إن كان النظر على ظهر قوس د جـ ه، فإنه أيضًا ينعكس الشعاع عنها بزوايا متساوية.

2 بجهة: لجهة [ع] – 5 على: ناقصة [ع] – 6 خارجًا: خارج [ر، ل، ع] – 7 ما: أثبتها فوق السطر [ل] – 14 فزاويتا: فزاويتي [ر، ل، ع] – 15 فتبقى ... متساويتين: ناقصة [ع] / متساويتين: متساويتان [ر] – 17 أيضًا من هذا: من هذا أيضًا [ع].

Exemple : Supposons l'arc *DCE* de l'autre côté et tel que le point *C* soit commun à celui-ci et à la droite *AB*, alors le rayon mené de *F* à *C* de la droite *AB* se réfléchit en *G* pour la raison précédente pour que l'angle
R-37v *ACF* soit égal à l'angle *BCG*. Mais les deux angles *DCA* et *ECB* / sont égaux et on a ajouté l'angle *ACD* à l'angle *ACF* et on a ajouté l'angle *ECB* à l'angle *BCG*. Par conséquent, l'angle *ECG* tout entier est égal à l'angle *DCF* tout entier, donc le rayon *FC* se réfléchit sur la convexité de l'arc
L-57r *DCE* à partir du point *C* au point *G* suivant deux angles égaux qui / sont les angles *DCF* et *ECG*. Ce qu'il fallait démontrer.

Par conséquent, il est manifeste maintenant que les rayons lumineux visuels et solaires se réfléchissent sur les corps polis à surface régulière, qu'elle soit droite, arquée ou circulaire, suivant des angles égaux, d'après les démonstrations qui précèdent et par la considération sensible qui n'est pas objet de doute et est irréfutable.

<7> Nous montrons également à propos de ce miroir, que nous décrivons maintenant, qu'il embrase en avant et en arrière.

Exemple : Supposons l'arc *AB* la concavité du miroir et traçons sur lui *AH*, *CD*, *JB* ; les portions *CE* et *DF* sont une pointe polie de surface
R-38r régulière qui traverse le milieu du miroir et qui est creuse, / de forme conique, pour que la largeur de *EF* en elle soit inférieure à la largeur *CD*.

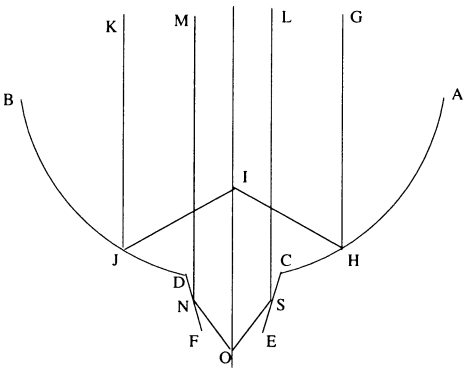


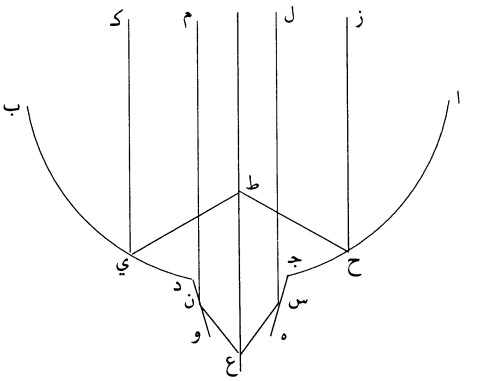
Fig. 7

مثال ذلك: أن نفرض قوس د جـ ه في الجهة الأخرى وتكون نقطة جـ مشتركة لها ولخط ا ب، فالشعاع الخارج من وَ إلى جـ من خط ا ب ينعكس إلى زَ للعلة التي قدمنا، لتكون زاوية ا جـ و مساوية لزاوية ب جـ ز. وزاويتا د جـ ا ه جـ ب / متساويتان، وقد زيدت زاوية ر - ٣٧ - ظ
5 ا جـ د على زاوية ا جـ و وزيدت زاوية ه جـ ب على زاوية ب جـ ز. فإذاً جميع زاوية ه جـ ز مساوية لجميع زاوية د جـ و، فإذاً قد انعكس شعاع و جـ على حدبة قوس د جـ ه من علامة جـ إلى علامة زَ على زاويتين متساويتين اللتين / هما زاويتا د جـ و ه جـ ز؛ وذلك ما أردنا بيانه. ل - ٥٧ - و

فإذاً قد ظهر الآن أن الشعاعات النورية البصرية والشمسية
10 تنعكس من الأجسام الصقيلة المستوية السطح، مستقيمة كانت أو قوسية أو دوائر على زوايا متساوية، بما تقدم من البراهين على ذلك بالنظر الحسّي الذي لا شكّ فيه ولا دافع له.

‹وَ› ونبين أيضًا في هذه المرآة التي نصف الآن أنها تحرق إلى قدام وإلى خلف.

15 مثال ذلك: أن نفرض قوس ا ب بطن المرآة ونرسم عليها ا ح جـ د ي ب، وموضعُ جـ ه د و بَرْبَخ صقيل مستوي السطح نافذ في وسط المرآة مجوف / في انخراط ليكون سعة ه و منه أقل من سعة جـ د منه. ر - ٣٨ - و



1 تكون: أثبتها فوق السطر [ل] - 6 مساوية: متساوية [ر] / فإذاً: فان [ل] - 7 على: عن [ل، ع] / جـ: دَ [ل] - 8 بيانه: ناقصة [ع] - 9 فإذاً: فاذ [ر] / الشعاعات: الشعاع، ثم أضاف «ات» في الهامش [ر] - 10 تنعكس: ينعكس [ر] / الأجسام: والمستوية [ع] / المستوية: ناقصة [ع] - 12 له: ناقصة [ع].

L-37v Menons les deux droites *KJ* et *GH* deux rayons du soleil ; le rayon *KJ* / se réfléchit donc vers <le point> *I*, de même *GH* se réfléchit vers <le point> *I*, et *I* sera le lieu de l'embrasement au devant du miroir, d'après les démonstrations précédentes. Mais la droite *MN* et la droite *LS* sont également deux rayons du soleil et elles sont tombées à l'intérieur de la pointe, alors le rayon *MN* se réfléchit vers *O* et le rayon *LS* se réfléchit aussi vers *O*, donc le point *O*, en arrière du miroir, est une position d'embrasement, d'après les démonstrations précédentes. Ce qu'il fallait démontrer.

O-35v R-38v <8> De même, nous verrons comment le rayon se réfléchit sur un cristal. Traçons // le cristal, le cristal *ABCDHG,* et menons un diamètre *AB*. Puisque le cristal est un corps poli, entièrement transparent, qui reçoit le rayon en son intérieur jusqu'à ce que l'arc *HLG* de l'intérieur reçoive le rayon. Menons le rayon *JD*, alors il tombe sur la convexité du cristal, se réfléchit de *D* vers *F*, traverse à l'intérieur jusqu'à *H* et se réfléchit de *H* vers *I*. De même le rayon *KC* tombe sur la convexité du cristal, se réfléchit de *C* vers *E*, traverse à l'intérieur jusqu'à *G* et se réfléchit de *G* vers *I*. Le point *I* est donc le lieu de l'embrasement du cristal, d'après les démonstrations qui précèdent. Ce qu'il fallait démontrer.//

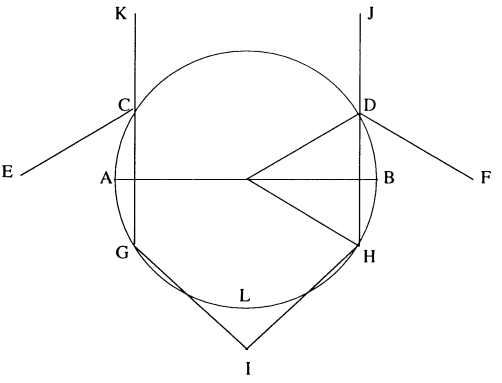
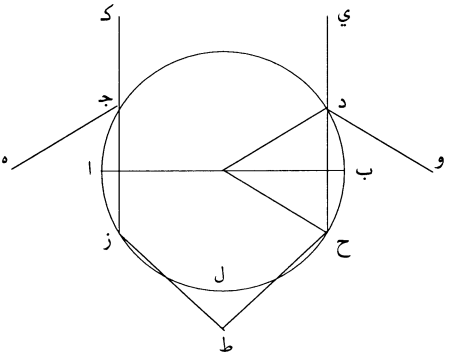


Fig. 8

ونخرج خطي كـ ي ز ح شعاعي الشمس، فشعاع كـ ي / انعكس إلى ل - ٥٧ - ظ
ط، وكذلك ز ح انعكس إلى ط، فكانت ط موضع الإحراق من قدام المرآة بالبراهين المتقدمة. وخط م ن وخط ل س شعاعا الشمس أيضًا وقعا على داخل البربخ، فانعكس شعاع م ن إلى ع وانعكس شعاع ل س إلى ع أيضًا، فنقطة ع من خلف المرآة موضع الإحراق بالبراهين المتقدمة؛ وذلك ما أردنا بيانه.

<ح> وأيضًا نرى كيف ينعكس الشعاع من البلوّرة. فنرسم // ع - ٣٥ - ظ
البلوّرة بلورة ا ب جـ د ح ز ونخرج قطر ا ب. ولأن البلورة جسم ر - ٣٨ - ظ
صقيل كلّه مستشف يقبل الشعاع إلى داخلها حتى يقبل قوس ح ل ز من داخل الشعاع. فنخرج شعاع ي د، فيقع على حدبة البلوّرة وينعكس من د إلى و وينفذ في داخلها إلى ح، فينعكس من ح إلى ط. وأيضًا شعاع كـ جـ يقع على حدبة البلورة وينعكس من جـ إلى ه وينفذ في داخلها إلى ز وينعكس من ز إلي ط. فنقطة ط موضع إحراق البلوّرة بالبراهين التي تقدمت؛ وذلك ما أردنا بيانه.//



1 كـ ي: كـ ي ي [ر] - 3 شعاعا: شعاعي [ر، ع] - 4 وقعا: ووقعا [ل] - 5 خلف: ناقصة [ع] - 8 جسم: جسيم [ع] - 9 كله: له [ر، ل] / قوس: أثبتها في الهامش [ر] - 10 شعاع: شعاعي [ر، ل] - 13 ز (الأولى): ح [ع].

L-58r
R-39r <9> Au début de son livre, Anthémius a exposé comment renvoyer les rayons en les réfléchissant à partir des miroirs, pour que les rayons du soleil pénètrent en un lieu déterminé et soient renvoyés par les miroirs, par réflexion, en un lieu déterminé, de sorte que les rayons ne se déplacent de ce lieu à aucun moment ni en aucune saison.

Nous avons composé sa proposition, ainsi que la démonstration qui en a été établie.

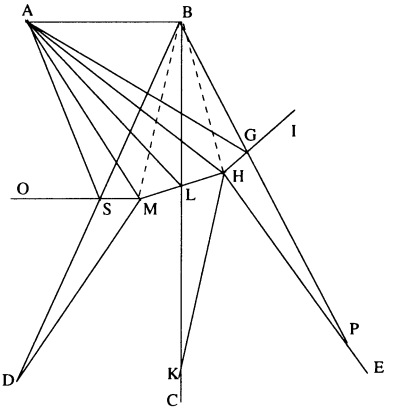
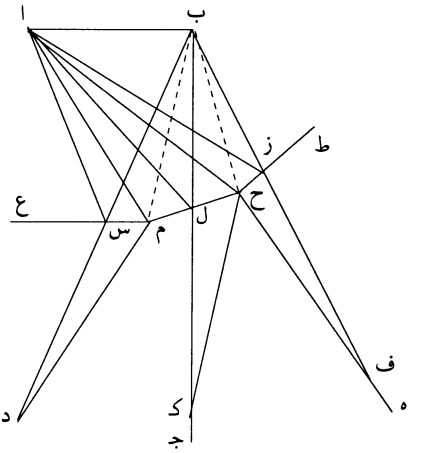


Fig. 9

Que la position déterminée à laquelle parviennent les rayons soit au point *A*. Menons du point *A* la droite méridienne et parallèle à l'horizon jusqu'au point *B* et <plaçons> au point *B*, le trou par lequel nous voulons que pénètrent les rayons du soleil que nous faisons parvenir au <point> *A*.
L-58v Menons du point *B* / la droite *BC* suivant des angles droits avec la droite *AB*, c'est la droite équinoxiale. Menons du point *B* la droite *BD* qui est la droite solsticiale d'été et la droite *BE* qui est la droite solsticiale d'hiver. Nous préparons la position de l'instrument sur la droite solsticiale d'hiver
R-39v au point *G* / à une distance convenable du point *B*, à volonté. Joignons le point *G* au point *A* par la droite *GA* et partageons en deux moitiés l'angle

<ط> وقد ذكر أنثيمس في أول كتابه كيف يردّ الشعاع بأن ل - ٥٨ - و
نعكسه من المرايا حتى يدخل شعاعُ الشمس إلى موضع محدود وتردّه ر - ٣٩ - و
بالعكس إلى موضع محدود ويكون الشعاع لا ينتقل عن ذلك الموضع
في كل حين وكل فصل من الزمان.
وقد وضعنا شكله وإقامة البرهان عليه.



فليكن الموضع المحدود الذي يصير إليه الشعاع عند نقطة آ. ونمدّ
من نقطة آ خط نصف النهار على استقامة وموازيًا للأفق إلى نقطة بَ،
ونقطة بَ هي عند الثقب الذي نريد أن يدخل منه شعاع الشمس
ونصيّره إلى آ. ونمدّ من نقطة بَ / خط بَ جَ على زوايا قائمة من خط ل - ٥٨ - ظ
آ بَ، وهذا هو الخط الاستوائي. ونمدّ من نقطة بَ خط بَ دَ، وهو الخط
الصيفي وخط بَ هَ وهو الخط الشتوي. ونهيأ موضع الآلة على الخط
الشتوي عند نقطة زَ / ببعد مقتدر من نقطة بَ كما نريد. ونصل ر - ٣٩ - ظ
نقطة زَ بنقطة آ بخط زَ آ، ونقطع زاوية هَ زَ آ بنصفين بخط مستقيم

1 ذكر: بين [ع] / أنثيمس: أنيثمس [ل] / كتابه: نجد بعدها «نريد أن نبين» [ع] – 2 شعاع: الشعاع [ر] / إلى: في [ع] – 5 وقد ... عليه: ناقصة [ع] – نجد بجوار نقطة بَ من الشكل «الكوّ الذي يدخل منه الشمس» [ر] «الكوة التي تدخل فيها (كذا !) الشمس» [ل] ؛ كما نجد بجوار نقطة آ «الموضع الذي ينعكس إليه الشعاع ولا يتغير أبداً» [ر، ل] – 7 للأفق: كالأفق [ل] – 8 نريد: تريد [ل] / شعاع: كتبها «الشعاع»، ثم حذف على «ال» [ل] – 9 بَ جَ: بَ حَ [ر، ل] – 13 زاوية: خط [ر، ل] / هَ زَ آ: هَ بَ جَ [ع].

EGA par une droite, soit la droite *GH* ; que le point *H* soit au milieu, entre les deux droites *BE* et *BC*, sur la moitié[16] de l'angle *EBC*. Prolongeons *HG* au point *I*. Si nous imaginons une surface de miroir placée sur la position de la droite *HGI*, alors le rayon *BGE*, s'il tombe sur le miroir *HGI*, retourne au point *A* : puisque l'angle *EGH* est égal à l'angle *HGA* ; mais l'angle *EGH* est égal à l'angle *IGB*, donc l'angle *HGA* est égal à l'angle *IGB* ; c'est pourquoi le rayon *BG* retourne en *A* suivant la droite *AG*.

De la même manière également le rayon équinoxial sera retourné au point *A*. Menons la droite *HA*, posons *HA* égale à *HK* et partageons, comme dans l'exemple que nous avons décrit, l'angle *KHA* en deux
L-59r moitiés par la droite *HLM* qui coupe / la droite *BKC* au point *L* et aboutit
R-40r au point / *M* sur lequel l'angle *CBD* se partage en deux moitiés, comme nous l'avons décrit. Menons la droite *LA*. Puisque *HK* est égale à *HA* et que l'angle *KHA* a été partagé en deux moitiés par la droite *HLM*, la base *KL* est égale à la base *LA* et l'angle *KLM* est égal à l'angle *LMA* ; mais l'angle *KLM* est égal à l'angle *HLB*. C'est pourquoi si la surface du miroir est placée, comme dans l'exemple que nous avons décrit, sur la droite *HLM* qui est contiguë au miroir *HGI* que nous avons mentionné précédemment, le rayon équinoxial qui est *LB* retourne au point *A* suivant la droite *LA*.

De la même manière, puisque la construction est la même, le rayon solsticial d'été, qui est *BS*, tombe sur la surface du miroir qui est sur la droite *MSO* et revient au point *A* suivant la droite *SA*.

O-36r Si donc nous imaginons au point *B* un trou convenable, alors tous / les
R-40v rayons qui pénètrent par le trou du point *B* / jusqu'aux miroirs adjacents

[16] C'est-à-dire sur la bissectrice.

وهو خط ز ح، ولتكن نقطة ح في الوسط مما بين خطي ب ه ب جـ على نصف زاوية ه ب جـ. ونخرج ح ز إلى نقطة ط. فإن توهمنا سطحًا مرائيًا موضوعًا على موضع خط ح ز ط، فإنه يكون شعاع ب ز ه إذا وقع على مرآة ح ز ط يرجع إلى نقطة آ، من أجل أن زاوية ه ز ح مثل زاوية ح ز آ، ولكن زاوية ه ز ح مثل زاوية ط ز ب، فزاوية ح ز آ مثل زاوية ط ز ب، فلذلك يرجع شعاع ب ز إلى آ بخط آ ز.

وعلى هذا المثال أيضًا يصير الشعاع الاستوائي يرجع إلى نقطة آ. فنمد خط ح آ، ونجعل ح آ مثل ح كـ؛ ونقسم على المثال الذي قد وصفنا زاوية كـ ح آ بنصفين بخط ح ل م الذي يقطع / خط ب كـ جـ ل - ٥٩ - و على نقطة ل وينتهي إلى نقطة / م التي عليها ينقسم زاوية جـ ب د ر - ٤٠ - و بنصفين على مثل ما وصفنا. ونخرج خط ل آ. فلأن ح كـ مساوي ح آ وزاوية كـ ح آ قد انقسمت بنصفين بخط ح ل م، تكون قاعدة كـ ل مساوية لقاعدة ل آ [مقطع]، وتكون زاوية كـ ل م مساوية لزاوية ل م آ؛ ولكن زاوية كـ ل م مساوية لزاوية ح ل ب. فمن أجل هذا إذا <كان> السطح المرائي موضوعًا، على المثال الذي وصفنا، على خط ح ل م المتصل بمرآة ح ز ط التي تقدم ذكرها، يكون الشعاع الاستوائي الذي هو ل ب يرجع إلى نقطة آ بخط ل آ.

وعلى هذا المثال بعينه - إذ العمل واحد - يكون الشعاع الصيفي الذي هو ب س يقع على السطح المرائي الذي على خط م س ع ويرجع إلى نقطة آ بخط س آ.

فإن توهمنا عند نقطة ب ثقبًا مقتدراً، يكون جميع / الشعاع ع - ٣٦ - و الذي يدخل من الثقب من نقطة ب / إلى المرايا المتصل بعضها ببعض ر - ٤٠ - ظ

1 ولتكن: لتكن [ع]، ونجد قبلها «وتقطع أيضًا زاوية ه ز آ بنصفين بخط ز ح» - 2 ه ب جـ: ب جـ [ر] / سطحًا: سطحها [ر] - 3 موضوعًا: ناقصة [ع] - 3-4 فإنه ... ح ز ط: ناقصة [ل] - 4 يرجع: ترجع [ر] - 5 ولكن: وكل [ع] - 6 فلذلك: نجد قبلها «فزاوية ح ز آ مثل زاوية ط آ ب» [ع] / يرجع: ترجع [ر] / بخط: إلى خط [ع] إلى [ل] - 8 قد: ناقصة [ع] - 9 كـ ح آ: ف ح آ [ع] - 10 جـ ب د: ب جـ د [ر، ل، ع] - 11 مثل: ناقصة [ع] / مساوي: مساو [ر، ل] - 12 وزاوية: فزاوية [ع] / كـ ح آ: ح كـ آ [ر] - 14 ل م آ: م ل آ [ر، ل، ع] / ح ل ب: جـ ل ب [ر] / فمن أجل: فمحل [ر] / إذا: إذاً [ر] إذن [ل] - 15 موضوعًا: موضوع [ر، ل] الموضوع [ع] - 16 التي: الذي [ل] - 19 يقع: يقطع [ر] - 21 جميع: أثبتها في الهامش مع بيان موضعها [ل].

L-59v les uns aux autres que nous avons décrits, retournent / au point *A*. Il est possible, si on divise les angles adjacents que nous avons décrits, qui se sont eux-mêmes divisés suivant l'exemple que nous avons décrit, de séparer des miroirs soit en grand nombre, soit en petit nombre.

Traçons la ligne *IGHLMSO*, qui, imaginée en rotation autour de l'axe *BA*, trace le miroir, appelé four, lequel, partagé en deux <moitiés> et recouvert d'une plaque parallèle à l'horizon, reçoit les rayons par le trou à la position *B* et les renvoie au point *A*.

Pour qu'on ne se fatigue pas lors de la préparation des surfaces des miroirs, si leurs parties sont aussi nombreuses, nous posons également le tracé de cette ligne, afin que, si on introduit un axe, on obtienne la préparation de ce miroir. Si nous imaginons la droite *GP* égale à la droite *GA*, dans ce cas la droite *PH* sera égale à la droite *HA*. Mais puisque <la
R-41r droite> *PG* a été posée égale / à la droite *GA* et que la droite *GB* est commune, la droite *PB* tout entière est égale à la somme des deux droites
L-60r *BG* et *GA*, / de même *PB* tout entière est égale à la droite *KB*, car *PH* est égale à la droite *HK* et le point *H* est au milieu de l'angle *PBK*, la droite *BK* est par conséquent égale à la somme des deux droites *BG* et *GA*. Mais la droite *KB* est égale à la somme des deux droites *BL* et *LA*, puisque la droite *KL* est égale à la droite *LA* et que la droite *LB* est commune, donc la somme des deux droites *BL* et *LA* est égale à la somme des deux droites *BG* et *GA*. C'est pourquoi la droite *BD* sera égale à la droite *BK* et sera égale à la droite *PB* et la somme des deux droites *BS* et *SA* sera
L-60v égale à la somme des deux droites / *BL* et *LA* et égale à la somme des deux droites *BG* et *GA*./

R-41v Il est clair d'après ce que nous avons décrit que toutes les lignes des rayons qui pénètrent au point *B* et retournent au point *A* sont égales. Si donc nous tendons un fil qui tourne autour des deux points *A* et *B* et <passe> par le commencement du retour des rayons, alors ce fil trace la
R-42r ligne que nous avons décrite / et qui sera la partie du miroir appelée ellipse, à laquelle est destiné l'axe du miroir que j'ai décrit et qui est le four. Ce qu'il fallait démontrer. /

التي وصفنا يرجع / إلى نقطة آ، وممكن إذا قُسمت الزوايا المتصلة التي ل - ٥٩ - ظ
وصفنا، إذ هي بعينها، إذا قسمت على المثال الذي وصفنا، ‹أن›
تفصل المرايا إما كثيرة وإما قليلة.

ونرسم خط ط ز ح ل م س ع هذا الذي إن توهمنا أنه يدور على
القطب، الذي هو ب آ، يرسم المرآة التي تسمى تنوريّة، وهي التي إذا
قسمت باثنين وغطيت بصفيحة موازية للأفق وكانت تقبل الشعاع من
الثقب بموضع ب ترجع الشعاع إلى نقطة آ.

ولأن لا ننصب عند تهيئة السطوح المرائية، إذا كانت أقسامها
هكذا كثيرة، نضع أيضًا رسم هذا الخط كيما إذا أدخل فيه محور يكون
بذلك تهيئة هذه المرآة. فإن توهمنا أن خط ز ف مساوٍ لخط ز آ،
يكون عند ذلك خط ف ح مساويًا لخط ح آ. ولأن ف ز وضع مساويًا
/ لخط ز آ، وخط ز ب مشترك، يكون خط ف ب كلّه مساويًا لخطي ر - ٤١ - و
ب ز ز آ مجموعين، / وأيضًا ف ب كلّه مساويًا لخط ك ب لأن ف ح ل - ٦٠ - و
مساوٍ لخط ح ك ونقطة ح على نصف زاوية ف ب ك، فخط ب ك إذًا
مساوٍ لخطي ب ز ز آ مجموعين. ولكن خط ك ب مساوٍ لخطي ب ل ل آ
مجموعين، من أجل أن خط ك ل مساوٍ لخط ل آ وخط ل ب مشترك،
فخطا ب ل ل آ مجموعين مثل خطي ب ز ز آ مجموعين. ومن أجل
هذا يصير خط ب د مساويًا لخط ب ك ومساويًا لخط ف ب، ويصير
خطا ب س س آ مجموعين مثل خطي / ب ل ل آ مجموعين ومثل ل - ٦٠ - ظ
خطي ب ز ز آ مجموعين. /

فتبين مما وصفنا أن جميع خطوط الشعاع الذي يدخل من نقطة ر - ٤١ - ظ
ب وترجع إلى نقطة آ متساوية. فإن مددنا خيطًا يدور على نقطتي آ
ب وعلى مبادئ رجوع الشعاع، فهذا الخيط يرسم الخط الذي وصفنا
/ وهو الذي يصير جزء المرآة الذي يسمى النقصان الذي إليه يصيّر ر - ٤٢ - و
محور المرآة التي وصفت وهي التنوريّة؛ وذلك ما أردنا بيانه. /

2 بعينها: بعضها [ل] – 5 القطب: ويعني به هنا المحور أو القطر، ولغةً «القطب» هو أيضًا الحديدة التي في الطبق الأسفل من الرَّحيين، يدور عليها الطبق الأعلى (انظر تاج العروس) / تنورية: بنورية [ر] – 6 للأفق: الافق [ر] – 12 كلّه .. لخطي: ناقصة [ع] – 14 ف ب ك: ف ب ط [ر، ل] – 15 ب ل: ر ل [ر، ل] – 16 من أجل: منحل [ر] – 19 خطي: ذلك [ر] – 21 فتبين: فبين [ر] – 24 جزء ... إليه: ناقصة [ع] / يسمى: تسمى [ل].

O-36v < 10 > Quant à l'embrasement par lequel Archimède a incendié et à propos duquel on rapporte qu'il a incendié les vaisseaux de l'ennemi par les miroirs ardents, ces miroirs n'étaient pas des miroirs qui embrasent en un point déterminé, car pour ce miroir qui embrase en un point déterminé, si l'incendié recule au delà de la limite qui est la grandeur de la distance d'embrasement, alors il ne sera pas embrasé, car l'extrémité[17] des rayons ne parvient pas à cette position, et si l'incendié avance pour entrer dans les rayons, alors les rayons s'étendent sur lui et n'embrasent pas.

Il nous est cependant parvenu qu'il a incendié par de nombreux miroirs dont les faces sont des surfaces planes qui renvoient les rayons selon leur
L-61r grandeur jusqu'à ce que / les rayons soient renvoyés par un obstacle d'un corps dense, sinon les rayons passent à l'infini si ceci est possible. Il a mis les miroirs entre les mains des hommes placés suivant un arc connu, les miroirs projettent leurs rayons sur l'incendié et l'embrasent. Si l'incendié recule, les rayons le rattrapent par la mise en mouvement des miroirs par
R-42v ceux qui les tiennent jusqu'à ce qu'ils atteignent / l'incendié. Et si l'incendié s'approche des miroirs, les rayons le rattrapent également par la mise en mouvement de ces miroirs par ceux qui les tiennent. Donc, où que soit l'incendié par rapport à la position[18], c'est-à-dire quel que soit le lieu dans lequel il est, alors les rayons réfléchis de ces miroirs le rattrapent.

Prenons pour cela un exemple : soit les trois miroirs *C*, *D* et *E* posés sur l'arc *AB* et que l'incendié soit le corps *G*.

Je dis que le rayon du miroir *D* est mené jusqu'à ce qu'il se projette sur l'incendié *G*, et que ses extrémités sont les points *H* et *I*. De même pour le
L-61v rayon / du miroir *C*, le rayon réfléchi par ce miroir dont les extrémités sont <les points> *H* et *I* rattrape l'incendié qui est le corps *G*. De même pour le miroir *E*, le rayon réfléchi par lui, dont les extrémités sont *H* et *I*, tombe également sur le corps *G*. Le rayon de chacun des trois miroirs se concentre donc sur le corps *G* et les extrémités des trois rayons sont *H* et *I*. En raison de leur réunion et de leur densité sur le corps *G*, se produit
R-43r l'embrasement dans le corps *G*. / De même si le corps *G* recule plusieurs fois au delà de la distance à laquelle il était parallèlement au miroir *D*,

[17] Le point où convergent les rayons.

[18] Il s'agit de la position des hommes placés suivant un arc.

<يَ> وأما الإحراق الذي أحرق به أرشميدس – الذي يُوصف عنه ع – ٣٦ – ظ
أنه أحرق مراكب العدو بالمرايا المحرقة – فإن تلك المرايا لم تكن من
المرايا التي تحرق على نقطة محدودة، لأن هذه التي تحرق على نقطة
محدودة إن تأخر المُحْرَقُ عن حدّها – الذي هو بعد مسافة الإحراق
5 – لم تحرق، لأن نهاية الشعاع لا تبلغ إليها، وإن تقدم المحرق حتى
يدخل في الشعاع، انبسط الشعاع عليه فلم يحرق.
والذي تناهى إلينا أنه أحرق بمرايا عدّة مستويات سطوح الوجوه
ترد الشعاع بقدرها إلى أن / يرد الشعاع رادّ من جسم كثيف وإلا ل – ٦١ – و
مرّ الشعاع إلى غير نهاية إن أمكن ذلك. فوضع المرايا بأيدي
10 الرجال على قوس معلومة، فألقت شعاعاتها على المُحرَق فأحرقته.
وإن تأخر المحرق، لحقه شعاع المرايا بتحريك الماسكين لها حتى
يوازى / المحرق. وإن دنا المحرق إليها، لحقه الشعاع أيضًا بتحريك ر – ٤٢ – ظ
تلك المرايا الماسكون لها. فأين كان المحرق من الوضع، أعني في أي
مكان كان، فإن شعاع تلك المرايا المنعكس منها يلحقه.
15 فلنضع لذلك مثالاً وهو مرايا جَ دَ هَ الثلاث الموضوعة على قوس
آ بَ والمحرق جسم زَ.
فأقول: إن شعاع مرآة دَ يخرج حتى يصاك محرق زَ ومنتهاه
علامتا حَ طَ. وكذلك شعاع / مرآة جَ، فإن الشعاع المنعكس منها ل – ٦١ – ظ
يلحق المحرق الذي هو جسم زَ، ونهايتاه حَ طَ. وكذلك مرآة هَ، فإن
20 الشعاع المنعكس منها واقع أيضًا على جسم زَ، ونهايتاه حَ طَ. فشعاع
المرايا الثلاث مجتمع على جسم زَ، ونهايات الشعاعات الثلاث حَ طَ.
فلاجتماعه وتكاثفه على جسم زَ يحدث الإحراق في جسم زَ./
وكذلك إن تأخر جسم زَ إلى أبعد من بعده الذي هو عليه مراراً كثيرة ر – ٤٣ – و

3-4 لأن ... محدودة: ناقصة [ر] – 5 تبلغ: يبلغ [ل] – 7 سطوح: السطوح [ر، ع] / الوجوه: والوجوه [ع] – 8 يرد: مكررة [ر] / رادّ: واد [ر] – 9 فوضع: توضع [ع] – 10 على: إلى [ع] – 11 لحقه شعاع: مكررة [ل] – 13 الماسكون: الماسكين / فأين: بها [ع] – 15 الثلاث: الثلاثة [ع] / الموضوعة: موضوعة [ع، ل] – 17 ومنتهاه: ومنتهاوه [ل] – 18 علامتا: علامتي [ر] / جَ: فَ جَ [ع] – 19 يلحق المحرق الذي هو: واقع أيضًا على [ع] / جسم: جنس [ر] / ونهايتاه: ونهايته [ر] / مرآة: لمرآة [ع] – 20 ونهايتاه: ونهايته [ر] – 21 المرايا: المريا [ل] / ونهايات: ونهاية [ر] – 22 يحدث: يحرق [ع].

alors le rayon du miroir *D* l'attrape. De même si on meut le miroir *C* dans la direction de *A*, il l'attrape. De même si on meut le miroir *E* dans la direction de *B*, il l'attrape jusqu'à ce que les rayons se réunissent sur le corps *G* et que leurs extrémités soient les points *I* et *H*, comme ils se sont réunis au début.

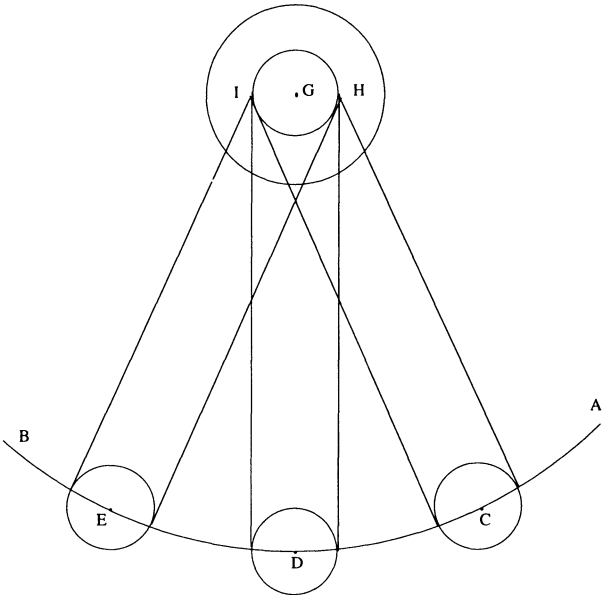
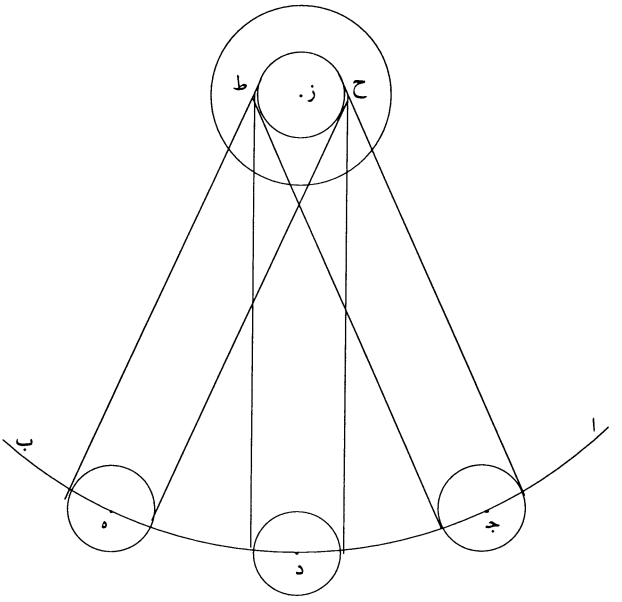


Fig. 10

De même si le corps *G* se rapproche du miroir *D* suivant la direction
R-43v dans laquelle il est, alors le rayon du miroir *D* l'attrape / et le rayon du miroir *C* si on le meut dans la direction de *B* le rattrape aussi, et le rayon du miroir *E*, si on le meut dans la direction de *A* le rattrape également. Si
L-62r donc le corps *G* s'approche, les rayons des trois miroirs / le rattrapent et les extrémités des rayons sont les points *H* et *I*. De même également, si le corps *G* s'éloigne, alors les rayons des trois miroirs le rattrapent et les extrémités des rayons qui le rattrapent sont les points *I* et *H*.

C'est par cette espèce qu'Archimède a incendié les vaisseaux dont on a rapporté qu'il les a embrasés, mais non pas par le miroir ardent dont l'embrasement est déterminé par la réunion des rayons en un seul point. Ce que nous voulions démontrer. /

على موازاة مرآة دَ، فإن شعاع مرآة دَ يلحقه. وكذلك إذا حركت مرآة جَ إلى جهة آ، فإنها تلحقه. وكذلك إذا حركت مرآة هَ إلى جهة بَ، فإنها تلحقه حتى تجتمع الشعاعات على جسم زَ وتكون نهايتاها علامتي حَ طَ كما اجتمعت بدياً.



وكذلك إن قرب جسم زَ إلى مرآة دَ على سمته الذي هو عليه، فإن شعاع مرآة دَ يلحقه / وشعاع مرآة جَ إذا حرك إلى جهة بَ لحقه ر - ٤٣ - ظ أيضًا وشعاع مرآة هَ إذا حرك إلى جهة آ لحقه أيضًا. فجسم زَ إذا قرب فشعاعات المرايا الثلاث / تلحقه وتكون نهايتا الشعاعات علامتي حَ ل - ٦٢ - و طَ. وكذلك أيضًا، جسم زَ إن بَعُد، فإن شعاعات المرايا الثلاث تلحقه وتكون نهايتا الشعاعات اللاحقة له علامتي طَ حَ.

فبهذا النوع أحرق أرشميدس المراكب التي وصف عنه أنه أحرقها؛ لا بالمرآة المحرقة الإحراق المحدود باجتماع الشعاع في نقطة واحدة؛ وذلك ما أردنا بيانه./

1 حركت: خرجت [ر] – 2 حركت: خرجت [ر] – 7 إذا (الثانية): ان [ر] – 8 نهايتا: نهايتي [ر] – 10 نهايتا: نهاية [ر، ل، ع] / طَ حَ: حَ طَ [ر] – 13 بيانه: أن نبين [ع].

O-37r <11> Nous voulons montrer maintenant que dans un miroir ardent, les corps apparaissent supérieurs à leur grandeur.

Je dis que dans les miroirs dont les gabarits qui rectifient leurs surfaces sont des portions de cercle, les corps apparaissent supérieurs à leur grandeur, laquelle apparaît dans les miroirs dont les gabarits qui rectifient leurs surfaces sont les lignes droites. /

R-44r *Exemple* : Supposons que la surface du miroir est rectifiée par un gabarit qui est un arc d'une portion de cercle, soit l'arc *ABC* ; supposons l'œil le point *D* duquel est menée une perpendiculaire qui sépare *ABC* en deux moitiés au point *B*. Supposons d'abord l'œil à l'extérieur du centre du cercle, c'est-à-dire que <sa distance> du point *B* est plus grande que
L-62v celle du centre du cercle / du point *B*. Supposons le centre du cercle le point *E* et supposons le corps visible la droite parallèle à la corde de l'arc *ABC*, soit le corps *FG*. Supposons les deux points sur lesquels se réfléchit le rayon à partir de l'arc *ABC* vers les points *F* et *G*, le point *H* de l'arc *CB* et le point *I* de l'arc *BA*. Menons de *E* les deux droites *HE* et *EI*, elles sont perpendiculaires aux points *H* et *I* ; les deux angles *BHE* et *CHE* sont donc égaux. Menons du point *D* le rayon *DH* et le rayon *DI*, alors l'angle *DHC* est plus petit que l'angle *DHB*.

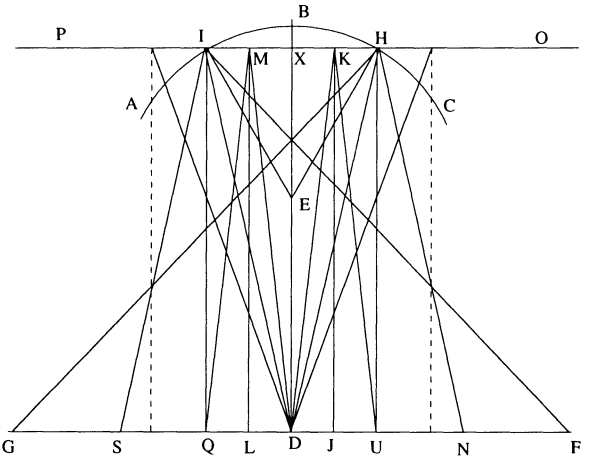
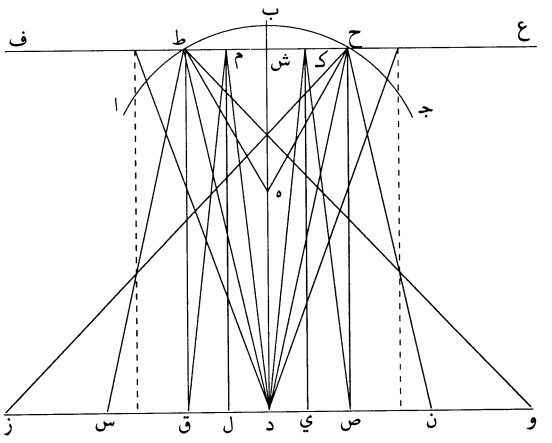


Fig. 11

<يآ> فنريد أن نبين الآن أن المرآة المحرقة ترى الأجسام فيها أكبر ع - ٣٧ - و
من قدرها.

فأقول: إن المرايا التي مساطرها المقومة لسطوحها قطع دوائر تري الأجسام أعظم من قدرها التي تريه المرايا التي مساطرها المقومة لسطوحها خطوط مستقيمة./

مثال ذلك: أن نفرض سطح المرآة مقوّمًا بمسطرة تكون قوسًا من ر - ٤٤ - و
قطعة دائرة وهي قوس ا ب جـ؛ ونفرض البصر علامة دَ يخرج منه عمود إلى علامة بَ يفصل ا ب جـ بنصفين؛ ونفرض البصر خارجًا عن مركز الدائرة أوّلاً، أعني أبعد من علامة بَ من مركز الدائرة / من ل - ٦٢ - ظ
علامة بَ. ونفرض مركز الدائرة علامة هَ ونفرض الجرم المبصر هو الخط الموازي لوتر قوس ا ب جـ، هو جـرم وَ زَ. ونفرض العلامتين اللتين ينعكس منهما الشعاع من قوس ا ب جـ إلى علامتي وَ زَ علامة حَ من قوس جـ بَ وعلامة طَ من قوس ب ا. ونخرج من هَ خطي ح ه ه ط، فهما عمودان على علامتي حَ طَ؛ فزاويتا ب ح ه جـ ح ه متساويتان. ونخرج من علامة دَ شعاع د ح وشعاع د ط، فزاوية د ح جـ أصغر من زاوية د ح ب.



3 مساطرها: مساطيرها [ل] / المقومة: للمقومة [ر] - 4 التي: الذي [ع] - 6 مقوّمًا: مقوم [ر، ل، ع] / قوسًا: قوس [ر] - 7 قطعة: قطع [ر] / يخرج: ويخرج [ع] - 8 خارجًا: خارج [ر] - 13 ه ط: ط ه [ر] - 14 ب ح ه: ح ه [ل].

R-44v Élevons au point *H* de la droite *EH* l'angle *EHG* / égal à l'angle *DHE*. Mais les deux angles *CHE* et *EHB* sont égaux, il reste donc les deux angles *CHD* et *BHG* égaux, donc le rayon *DH* se réfléchit à partir de *H* du côté de *A* en un point de la droite *DF* ; supposons-le le point *G*. Par le même procédé, nous montrons que le rayon mené du point *D* au <point> *I* se
L-63r réfléchit du côté de *C* en un point de la droite *DU* ; supposons-le / le point *F*. Du fait d'avoir mené les droites *DI*, *EI*, *IF* et d'avoir supposé les deux angles *DIE* et *EIF* égaux, ce qu'on voit par le rayon dont les deux extrémités sont les droites *DH* et *DI* qui entourent l'angle *HDI* et qui est réfléchi des deux points *H* et *I*, apparaît plus grand que ce qu'on voit par le miroir à surface plane, c'est-à-dire dont le gabarit qui le rectifie est une droite parallèle au corps *FG*.

Démonstration : Supposons le miroir à surface plane suivant la droite *OHIP* parallèle au visible qui est la droite *FG*. Élevons aux points *H* et *I*
R-45r deux perpendiculaires du côté de la droite / *FG*, soit la perpendiculaire *HU* pour la droite *FD* et la perpendiculaire *IQ* pour la droite *GD* ; élevons au point *H* pour la droite *UH* du côté de *O* un angle égal à l'angle *DHU*, soit l'angle *UHN* ; il reste les deux angles *DHI* et *NHO* égaux, donc le rayon *DH* réfléchi à partir du point *H* sur le miroir *OHIP* tombe au point *N* de la droite *FD*. Par le même procédé, nous montrons que le
L-63v rayon *DI* réfléchi du point *I* sur le miroir *OHIP* / se réfléchit au point *S* de la droite *DG*, étant donné que nous supposons que l'angle *DIQ* est égal à l'angle *QIS*. Donc ce qu'on voit maintenant sous l'angle *HDI* dans le miroir arqué *ABC* est la droite *FG* tout entière et ce qu'on voit sous l'angle *HDI* dans le miroir à surface plane *OHIP* est la droite *NS*, et la droite *FG* est beaucoup plus grande[19] que la droite *NS*.

De même, nous marquons là où la droite *BD* coupe la droite du miroir
R-45v *OHIP*, le point *X*, alors les droites *HU*, / *XD*, *IQ* sont perpendiculaires aux droites parallèles *OP* et *NS*, mais les distances *HX* et *XI* sont égales,
L-64r car elles étaient ainsi supposées, étant donné que / l'arc *AB* était supposé égal à l'arc *BC* ; et les distances *DF* et *DG* sont aussi égales, car le rayon

[19] Ce résultat est donné ici sans justification et n'est pas toujours exact.

ونقيم على علامة ح من خط ه ح زاوية ه ح ز / مساوية لزاوية ر - ٤٤ - ظ
د ح ه. وقد كانت زاويتا جـ ح ه ه ح ب متساويتين، فتبقى زاويتا
جـ ح د ب ح ز متساويتين، فشعاع د ح ينعكس من ح في جهة آ إلى
علامة من خط د و، فنفرضها علامة ز. وبهذا التدبير نبين أن الشعاع
الخارج من علامة د إلى ط ينعكس إلى جهة جـ إلى علامة من خط
د ص، فنفرضها / علامة و. بإخراجنا خطوط د ط ه ط و وفرضنا ل - ٦٣ - و
زاويتي د ط ه ه ط و متساويتين، فالمبصر بالشعاع الذي نهايتاه خطا
د ح د ط المحيطين بزاوية ح د ط المنعكس من علامتي ح ط يرى
أعظم قدراً مما يرى بالمرآة المعتدلة السطح، أعني التي مسطرتها المقوّمة
لها خط مستقيم الموازية لجرم و ز.

برهان ذلك: أن نفرض المرآة المعتدلة السطح على خط ع ح ط ف
موازية للمبصر الذي هو خط و ز. ونقيم على علامتي ح ط عمودين في
جهة خط/ و ز وهما عمود ح ص من خط و د وعمود ط ق من خط ر - ٤٥ - و
ز د، ونقيم على علامة ح من خط ص ح في جهة ع زاوية مساوية
لزاوية د ح ص وهي زاوية ص ح ن؛ فتبقى زاويتا د ح ط ن ح ع
متساويتين، فشعاع د ح المنعكس من علامة ح من مرآة ع ح ط ف
يقع على علامة ن من خط و د. وبهذا التدبير نبين أن شعاع د ط
المنعكس من علامة ط من مرآة ع ح ط ف / ينعكس إلى علامة س ل - ٦٣ - ظ
من خط د ز، إذ نفرض زاوية د ط ق مساوية لزاوية ق ط س. فإن
الذي يبصر الآن بزاوية ح د ط من مرآة آ ب جـ المقوسة خط و ز كلّه
والذي يبصر بزاوية ح د ط من مرآة ع ح ط ف المستوية السطح خط
ن س، فخط و ز أعظم من خط ن س كثيراً.

وأيضًا نتعلم حيث قاطع خط ب د خط مرآة ع ح ط ف علامة ش،
فخطوط ح ص / ش د ط ق أعمدة على خطي ع ف ن س المتوازيين، ر - ٤٥ - ظ
وبعدا ح ش ش ط متساويان، لأنهما كذلك فرضا، إذ / قوس آ ب ل - ٦٤ - و
فرضت مثل قوس ب جـ، وبُعدا د و د ز متساويان أيضًا لأن شعاع

2 متساويتين: متساويتان [ر، ع] - 3 متساويتين: متساويتان [ر، ع] - 7 متساويتين: متساويان [ع] / فالمبصر: والمبصر [ر، ل] / نهايتاه: نهايته [ر] - 8 ح د ط: ح ر ط [ل] - 12 ح: ه [ر، ل] - 13 عمود (الأولى): عمودا [ر، ل، ع] - 14 ع: ناقصة [ع] - 16 متساويتين: متساويتان [ر] - 17 على: في الهامش [ر] / ن: كتبها «ر» في هذا الشكل - 22 ن س (الأولى والثانية): ر س [ر، ل] - 23 نتعلم: يتعلق [ر] - 25 وبعدا: وبعد [ر، ل، ع] - 26 وبعدا: وبعد [ر، ل].

DH est réfléchi sur le miroir *ABC* de *H* à *G* et le rayon *DI* est réfléchi sur le miroir *ABC* également de *I* à *F*. Partageons la droite *DU* en deux
R-46r moitiés au point *J* et élevons au point *J* une perpendiculaire, / soit la droite *JK* – *K* appartenant à la droite *HX* ; partageons la droite *DQ* en deux moitiés au point *L* et élevons au point *L* une perpendiculaire, soit la droite
O-37v *LM* – *M* appartenant à la droite *XI*. Menons / les droites *DK*, *KU*, *DM* et *MQ*, les deux angles *UKJ* et *JKD* sont égaux, il reste les deux angles *DKI* et *UKO* égaux, donc le rayon *DK* se réfléchit du point *K* au point *U*. Par le même procédé, nous montrons que le rayon *DM* se réfléchit du point *M* au point *Q*. Par conséquent, la droite *FG* est vue sous le grand angle *HDI* dans le miroir arqué *ABC* et sous l'angle le plus petit *KDM* dans le miroir plan de la corde *OHIP*[20].

L-64v Ce qu'on voit / sous un angle plus grand est vu plus grand ; par conséquent la droite *FG* tout entière est vue, dans le miroir arqué *ABC*, plus grande qu'elle n'est vue dans le miroir plan de la corde *OHIP*. Ce qu'il fallait démontrer./

R-46v Par le même procédé, nous montrons que l'analogue de cela se produit dans le <miroir> de surface arquée si l'œil en est plus proche que le centre de son cercle, si ce n'est que la chose dans ce miroir sera vue de son côté et plus grande que sa grandeur, d'après ce qui précède.

<12> Nous montrons également que le miroir convexe, c'est-à-dire dont la surface qui fait voir les choses est comme la surface d'une portion de sphère, fait voir les corps d'une grandeur plus petite que s'ils apparaissent dans les miroirs à surfaces planes à partir des points dont la distance à l'œil est la même, lorsque les diamètres des miroirs sont parallèles aux diamètres des visibles et que le diamètre du miroir plan est égal au diamètre du miroir à surface sphérique.

Exemple : Supposons le miroir sphérique l'arc *ABC* et la position de l'œil le point *D* et menons la droite *DB* – supposons que *B* partage l'arc
L-65r *ABC* en deux moitiés – qui aboutit au centre du cercle de l'arc *ABC* ;
R-47r supposons-le le point *E*, c'est-à-dire le centre. / Menons / le rayon à partir

[20] Ce résultat est faux car : sous l'angle *KDM* on voit dans le miroir plan le segment *UQ* et on a *UQ* = 1/2 *NS* par construction. On notera à partir de "Partageons la droite..." une confusion entre les lettres *U* et *F* d'une part, et *Q* et *G* d'autre part. Cf. commentaire, chap. III.

د ح انعكس من مرآة ا ب جـ من ح إلى ز وشعاع د ط من مرآة ا ب جـ انعكس أيضًا من ط إلى و. ونقسم خط د ص بنصفين على علامة ي ونقيم على علامة ي عموداً / وهو خط ي ك، وك من خط ح ش؛ ر - ٤٦ - و
ونقسم خط د ق بنصفين على علامة ل ونقيم على علامة ل عموداً وهو
5 خط ل م، وم من خط ش ط. ونخرج / خطوط د ك ك ص د م م ق، ع - ٣٧ - ظ
فزاويتا ص ك ي ي ك د متساويتان، فتبقى زاويتا د ك ط ص ك ع متساويتين، فشعاع د ك ينعكس من علامة ك إلى علامة ص. وبهذا التدبير نبين أن شعاع د م ينعكس من علامة م إلى علامة ق. فإذاً خط و ز يبصر بزاوية ح د ط العظمى من مرآة ا ب جـ المقوسة وبزاوية
10 ك د م الصغرى من مرآة ع ح ط ف المستوية الوترية.

والذي يرى / بزاوية أعظم يُرى أعظم، فإذاً خط و ز كلّه يرى ل - ٦٤ - ظ
بمرآة ا ب جـ المقوسة أعظم مما يرى بمرآة ع ح ط ف المستوية الوترية؛ وذلك ما أردنا بيانه. /

وبهذا التدبير نبيّن أن مثل ذلك يعرض في القوسية السطح إذا ر - ٤٦ - ظ
15 كان البصر أقرب إليها من مركز دائرتها إلا أن الشيء منها يرى في جهته ويرى أعظم من قدره لما قدّمنا.

<يب> ونبين أيضًا أن المرآة المقببة، أعني الذي سطحها الذي يُري الأشياء كسطح قطعة كرة، تري الأجرام أصغر قدراً مما ترى في المرايا المعتدلات السطوح من العلامات التي <يكون> بُعدها من البصر بعداً
20 واحداً إذا كانت أقطار المرايا موازية أقطار المبصرات ويكون قطر المرآة المعتدلة هو مثل قطر المرآة الكرية السطح.

مثال ذلك: أن نفرض المرآة الكرية قوس ا ب جـ وموضع البصر علامة د، ونخرج خط د ب - ونفرض ب تقسم قوس ا ب جـ بنصفين - وينتهي إلى مركز دائرة قوس ا ب جـ، ونفرضه علامة ه،
25 أعني المركز. / ونخرج / الشعاع من د إلى علامتين من قوس ل - ٦٥ - و
ر - ٤٧ - و

3 عموداً: عمود [ر، ل، ع] - 4 عموداً: عمود [ر، ع] - 5 د ك: ز ك [ر، ل] / ك ص: ك و [ر، ل، ع] / م ق: م ر [ل]- 6 ص ك ع: و ك ع [ر، ل، ع] - 7 متساويتين: متساويتان [ر، ل، ع] / ص: ق [ر] و [ل] - 8 ق: ز [ر، ل، ع] - 9 ح د ط: ح ر ط [ل] - 14 في: ناقصة [ر].

de *D* jusqu'à deux points de l'arc *ABC*, soit les deux points *H* et *I*. Supposons le point *H* le dernier point de l'arc *BC* sur lequel peut se réfléchir un rayon issu du point *D* dans la direction de *C*. Menons la droite *HE* et prolongeons-la à partir du point *H* jusqu'à *F*, quel que soit le point où elle tombe. Menons la droite *EI* et prolongeons-la de *I* à *G*, quel que soit le point où elle tombe. Élevons au point *H* sur la droite *HF* un angle dans la direction de *C*, un angle égal à l'angle *DHF*, soit l'angle *FHJ*. Les deux angles *FHC* et *BHF* sont égaux, car la droite *EF* a été menée du centre du cercle de l'arc *ABC*. Élevons au point *I* sur la droite *GI* dans la direction de *A* l'angle *GIK* égal à l'angle *DIG*. Il est clair que l'angle *AIG* est égal à l'angle *BIG*, donc le rayon *DH* se réfléchit de *H* au point *J* et le rayon *DI* se réfléchit de *I* au point *K*. Supposons le miroir à surface plane
R-47ᵛ le miroir *OHIP*, élevons au point *H* une perpendiculaire qui aboutit / au /
L-65ᵛ point *N* de la droite *LM* et au point *I* une perpendiculaire qui aboutit au point *S* de la droite *LM* également. Élevons au point *H* sur la droite *HN* dans la direction de *L* un angle égal à l'angle *DHN* / qui est l'angle *NHU*. Supposons *U* sur la droite *LM*, il reste les deux angles *IHD* et *UHO* égaux,

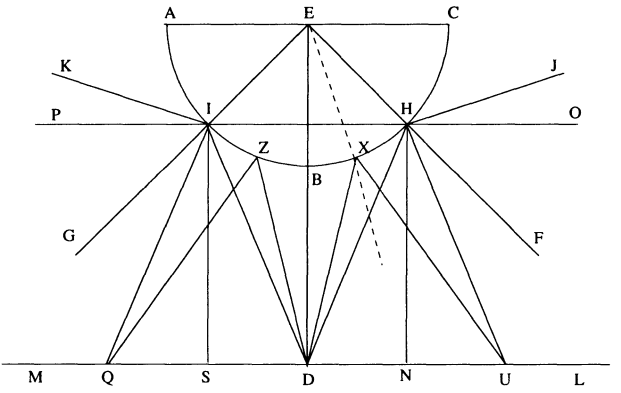
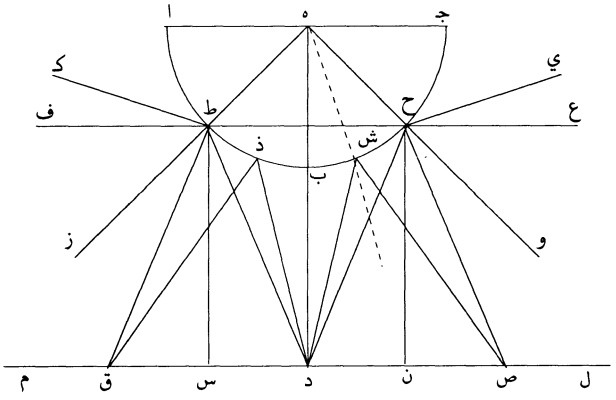


Fig. 12

ا ب جـ وهما علامتا ح ط. ونفرض علامة ح آخر علامة من قوس ب جـ يمكن أن ينعكس منها شعاع يخرج من علامة د في جهة آ، ونخرج خط ح ه، ونخرجه على استقامة ح ه من علامة ح إلى و كيف وقع، و‹نخرج› خط ه ط ‹ونخرجه› على استقامة ه ط من ط إلى ز كيف وقع. ونقيم على علامة ح من خط ح و زاوية في جهة جـ مثل زاوية د ح و وهي زاوية و ح ي. فزاويتا و ح جـ ب ح و متساويتان لأن خط ه و خرج من مركز دائرة قوس ا ب جـ. ونقيم على علامة ط من خط ز ط في جهة آ زاوية ز ط ك مساوية لزاوية د ط ز. فبين أن زاوية ا ط ز مساوية لزاوية ب ط ز، فشعاع د ح ينعكس من ح إلى علامة ي وشعاع د ط ينعكس من ط إلى علامة ك. ونفرض المرآة المعتدلة السطح مرآة ع ح ط ف، ونقيم على علامة ح عموداً ينتهي/ ر - ٤٧ - ظ إلى / علامة ن من خط ل م وعلى علامة ط عموداً ينتهي إلى علامة ل - ٦٥ - ظ س من خط ل م أيضًا. ونقيم على علامة ح من خط ح ن في جهة ل زاوية مساوية لزاوية د ح ن / وهي زاوية ن ح ص. ونفرض ص من خط ل م، فتبقى زاويتا ط ح د ص ح ع متساويتين، فشعاع د ح



2 ينعكس: نعكس [ل] / يخرج: يحرى [ع] - 6 و ح جـ: ي ح و [ر، ل، ع] / ب ح و: جـ د و [ر، ل] د ح و [ع] - 9 لزاوية: زاوية [ر، ل] / د ح: ر ح [ل] - 10 إلى: على [ع] - 11 المعتدلة: المتعدلة [ر] / ع ح ط ف: ح ع ط ف [ر، ل، ع] - 12 من خط ل م: ناقصة [ع] / على: من [ر، ل، ع] / س: ح [ع] - 13 ونقيم: ونخط [ع] - 14 ن ح ص: ر ح ص [ل] / ص: س [ر] - 15 متساويتين: مساويتين [ل] مساويتان [ر] / د ح: ب ح [ل].

donc le rayon *DH* se réfléchit du point *H* à partir de la droite *OP* vers le point *U* de la droite *LM*. Élevons au point *I* sur la droite *SI* dans la direction de *M* un angle *SIQ* – <*Q* est> sur la droite *LM* – égal à l'angle *SID* ; il reste donc l'angle *PIQ* égal à l'angle *DIO* ; le rayon *DI* se réfléchit donc du point *I* du côté de *OP* vers le point *Q*. La droite *UQ* est donc vue sous l'angle *HDI* dans le miroir plan *OHIP*. Le rayon qui tombe au point *U* est le rayon *DH*, réfléchi du point *H* vers *U*, et celui qui tombe
R-48r au point *Q* est le rayon *DI* réfléchi / du point *I* vers *Q*. Si donc le rayon /
L-66r *DH* se réfléchit du point *H* à partir du dos du miroir arqué *ABC* au point *J*, alors le rayon réfléchi sur l'arc *HBI* en un point de la droite *LM* se réfléchit en un point de l'arc *BH* entre *B* et *H*. Supposons donc que le rayon mené de *D* à l'arc *BH* est le rayon *DX* qui se réfléchit au point *U* à partir du point *X* – *U* appartient à la droite *LM* et *X* à l'arc *BH*. /
L-66v Supposons également que le rayon mené de *D* à l'arc *BI* est le rayon *DZ* qui se réfléchit au point *Q* à partir du point *Z*, *Q* appartient à la droite *LM* et *Z* à l'arc *BI*. L'arc *XBZ* est donc plus petit que l'arc *HBI*, donc l'angle *HDI* est plus grand que l'angle *XDZ* qui en est une partie. Mais ce qui est vu sous un angle plus petit sera vu plus petit et la droite *UQ* sera vue à partir du dos du miroir arqué *AIBHC* sous l'angle *XDZ*, le plus
R-48v petit, et est vue dans le miroir / à surface plane *OHIP* sous l'angle *HDI*, le plus grand. Par conséquent, la droite *UQ* apparaît dans le miroir *ABC* sphérique arqué plus petite qu'elle n'apparaît dans le miroir *OHIP* à surface plane. Ce qu'il fallait démontrer.

<13> Nous montrons également que le miroir, dont l'intérieur est l'intérieur d'une sphère, fait voir les choses à l'opposé de leurs positions, c'est-à-dire pas dans leurs positions, si la pupille est à l'extérieur du centre de la sphère du miroir, c'est-à-dire plus éloignée que le centre de /
L-67r sa sphère.

ينعكس من علامة ح من خط ع ف إلى علامة ص من خط ل م. ونقيم على علامة ط من خط س ط في جهة م زاوية س ط ق من خط ل م مساوية لزاوية س ط د، فتبقى زاوية ف ط ق مثل زاوية د ط ع؛ فشعاع د ط ينعكس من علامة ط من جهة ع ف إلى علامة ق، فخط ص ق يبصر بزاوية ح د ط من مرآة ع ح ط ف المعتدلة. والشعاع الذي يقع على علامة ص هو شعاع د ح المنعكس من علامة ح إلى ص، والذي يقع على علامة ق هو شعاع د ط المنعكس / من علامة ط إلى ق. فإن كان شعاع / د ح ينعكس من علامة ح من ظهر مرآة ا ب جـ القوسية إلى علامة ي، فإذاً الشعاع المنعكس من قوس ح ب ط إلى علامة من خط ل م إنما ينعكس من علامة من قوس ب ح فيما بين ب إلى ح. فنفرض الشعاع الخارج من د إلى قوس ب ح شعاع د ش ينعكس إلى علامة ص من علامة ش، وص من خط ل م وش من قوس ب ح. / ونفرض أيضًا الشعاع الخارج من د إلى قوس ب ط شعاع د ذ ينعكس إلى علامة ق من علامة ذ، وق من خط ل م وذ من قوس ب ط. فقوس ش ب ذ أصغر من قوس ح ب ط، فزاوية ح د ط أعظم من زاوية ش د ذ التي هي بعضها. والذي يرى بزاوية أصغر يرى أصغر، وخط ص ق يرى من ظهر مرآة ا ط ب ح جـ القوسية بزاوية ش د ذ الصغرى ويرى من مرآة / ع ح ط ف المعتدلة السطح بزاوية ح د ط العظمى. فإذاً خط ص ق يرى في مرآة ا ب جـ الكرية القوسية أصغر مما يرى في سطح مرآة ع ح ط ف المعتدلة السطح؛ وذلك ما أردنا بيانه.

ر - ٤٨ - و

ل - ٦٦ - و

ل - ٦٦ - ظ

ر - ٤٨ - ظ

<يجـ> ونبيّن أيضًا أن المرآة التي باطنها باطن كرة أنها تري الأشياء في أضداد مواضعها، أعني في غير مواضعها، إذا كان الناظر منها خارجًا عن مركز كرتها، أعني أبعد منها من مركز / كرتها.

ل - ٦٧ - و

2 س ط: ط س [ل، ع] – 3 لزاوية: زاوية [ر، ل] / د ط ع: ر ط ع [ل] – 4 ص ق: ص ف [ل] – 5 ع ح ط ف: ح ط ف [ر، ل] – 8 مرآة: المرآة، ثم ضرب على «الـ» [ر] – 10 ب: د [ع] – 13 الشعاع: ناقصة [ر] / ب ط: ز ط [ل] / د ذ: د ز [ر] ر د [ل] – 15 ح ب ط: ح ب د [ل] / ح د ط: ح ب ط [ر، ل، ع] – 16 ش د ذ: س ب د [ر، ل، ع] – 17 ص ق: س ق [ر، ل] / ش د ذ: س ب ذ [ر، ل، ع] – 18 ع ح ط ف: ع ط ف [ع] / ح د ط: ح جـ ط [ر، ل] ح ب ط [ع] وأثبت الدال فوقها [ع] – 19 ص ق: ص ف [ل] – 20 مرآة: ناقصة [ر] / بيانه: أن نبين [ع] – 22 أعني: الذي [ر] – 23 خارجًا: خارج [ر].

R-49r *Exemple* : Que l'arc *AB* appartienne à la surface de ce miroir et que la pupille soit dans la position *C* qui est plus éloignée <de ce miroir> que le centre de l'arc *BEA*. Supposons la droite menée de *C* à l'arc, la droite *CD* qui passe par le centre *G*.

Je dis que le rayon *CE* ne se réfléchit pas dans la direction de *B* comme la droite *EF*, mais se réfléchit dans la direction de *A* comme la droite *EH*
O-38v et la pupille voit à partir du point *C* au point *E* la chose qu'elle devait/voir dans la position *F* et qu'elle voit dans la position *H* ; le point *H* est dans une direction différente de celle de *E*, car *E* est du côté de l'arc *BD* et *H* est du côté de l'arc *AD*.

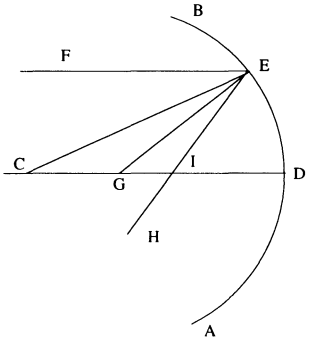
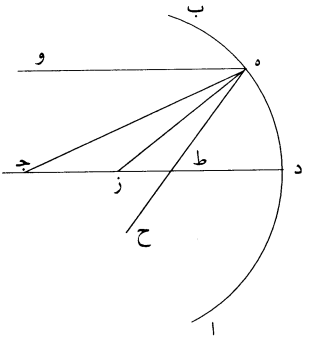


Fig. 13

Démonstration : <a> Les rayons se réfléchissent à partir des surfaces sur lesquelles ils tombent suivant des angles égaux, comme nous l'avons mentionné précédemment. La droite *GE* menée du centre fait donc deux angles *GED* et *GEB* égaux. Par conséquent, la droite *CE* fait un angle
L-67v *CED* plus grand que l'angle *CEB*, donc / un rayon ne peut pas se réfléchir
R-49v du point *E* dans la direction de *B*, comme *EF*, telle que l'angle / *CED* soit égal à l'angle *FEB*, car *CEB* qui est plus grand que *FEB* est plus petit que *CED*. Il est par conséquent possible que le rayon se réfléchisse dans la direction de *A*, comme la droite *EH* ; il est possible en effet que l'angle *HED* soit égal à l'angle *CEB*.

مثال ذلك: لتكن قوس آ ب / من سطح هذه المرآة والناظر في ر - ٤٩ - و
موضع جـ وهو أبعد من المركز من قوس ب ه آ. ونفرض الخط الخارج
من جـ إلى القوس خط جـ د يمرّ على المركز زَ.

فأقول: إن شعاع جـ ه لا ينعكس إلى جهة بَ كخط ه و، بل إلى
جهة آ ينعكس كخط ه حَ، فيرى الناظر من علامة جـ على نقطة هَ
الشيء الذي كان ينبغي أن/ يراه في موضع وَ يراه في موضع حَ؛ ع - ٣٨ - ظ
وعلامة حَ هي <في> خلاف جهة هَ لأن هَ في جهة قوس ب د وحَ في
جهة قوس آ د.



برهان ذلك: أيضًا أن الشعاعات تنعكس من السطوح التي تقع
عليها على زوايا متساوية كما قدّمنا. فخط زَ ه الخارج من المركز يصيّر
زاويتي ز ه د ز ه ب متساويتين. فإذاً خط جـ ه يصيّر زاوية جـ ه د
أعظم من زاوية جـ ه ب، فليس / يمكن أن ينعكس منها شعاع في جهة ل - ٦٧ - ظ
بَ كـ ه و وتكون زاوية / جـ ه د مساوية لزاوية و ه ب لأن جـ ه ب ر - ٤٩ - ظ
التي هي أعظم من و ه ب أصغر من جـ ه د. فإنما يمكن إذن أن ينعكس
الشعاع إلى جهة آ كخط ه حَ؛ فإنه يمكن أن تكون زاوية حَ ه د
مساوية زاوية جـ ه ب.

1 لتكن: ليكون [ر، ل، ع] - 2 أبعد من: كتب بعدها «سطح هذه المرآة»، ثم ضرب عليها بالقلم [ر] / ب ه آ: ب آ ه [ر، ل] ب آ [ع] - 3 المركز: كتب بعدها «والمركز والمركز» [ر] - 9 أيضًا: ناقصة [ع] / الشعاعات: الشعاع [ر] - 10 زوايا: زوايا قائمة [ع] - 11 زاويتي ... يصير: ناقصة [ع] / ز ه د: ز د ه [ر، ل] / يصير: مصير [ر] - 13 لأن: لأن خط [ر] - 15 كخط: ناقصة [ع] / فإنه ... تكون: ناقصة [ع] / ح ه د: ه ح د [ر، ل].

<b> Par le même procédé, nous montrons que si la pupille regarde à partir du <point> *G* qui est le centre, le rayon ne se réfléchit ni dans la direction de *A* ni dans la direction de *B* ; pas dans la direction de *A*, car il n'est pas possible que l'angle *DEH* soit égal à l'angle *FEG*, car l'angle *GED* est égal à l'angle *GEB*, donc l'angle *HED* est plus petit que l'angle *GED* ; ni dans la direction de *B* non plus, car l'angle *FEB* est une partie de <l'angle> *GED* – *GED* est en effet égal à *GEB*. Si donc la pupille est à l'extérieur du centre plus loin de la surface du miroir que le centre, elle ne voit les choses qu'à l'opposé de leurs positions ; si elle est au centre,
L-67v elle ne voit pas les choses dans / des positions différentes des leurs, mais
R-50r ne voit / que ce qui est sur le rayon *EG*, car il se réfléchit sur lui-même, c'est-à-dire que le rayon se disperse à partir de la pupille à partir de *G* jusqu'à *E* et revient suivant la droite *EG* jusqu'à *G*.

<c> Mais si elle est plus proche de la surface du miroir que *G* qui est le centre, alors elle voit ce qui est dans la direction de *A* par les points qui sont dans la direction de *A* de l'arc *DA* et ce qui est dans la direction de *B* par les points qui sont dans la direction de *B* de l'arc *BD*, comme la droite *EI*, la pupille étant au point *I* ; alors l'angle *IED* est plus petit que l'angle *GEB* qui est égal à l'angle *GED*. Il est donc possible que <le rayon> se réfléchisse de *E* vers *F*, car il est possible que l'angle *FEB* devienne égal à
L-68r l'angle *IED*. Par conséquent, l'angle / *IED* est beaucoup plus petit que l'angle *IEB*. Ce qu'il fallait démontrer. /

R-50v <14> Nous montrons également que, dans ce miroir, on voit la droite à gauche et la gauche à droite.

Nous disons : Tout miroir dont la surface est de forme cylindrique qui mène à ce qui a été affirmé – est tel que son gabarit qui le rectifie est une portion de cercle et que sa forme est comme la forme d'une portion de cylindre creusé en longueur tel que deux portions égales de la surface d'un même cercle entourent ses deux bases – est rencontré par la pupille de sorte que la droite menée de la pupille tombe sur la droite qui le partage en deux moitiés suivant la longueur – et est tel que chacune de ses deux bases est parallèle au plan de l'horizon et que le centre de son arc est entre l'œil et lui, alors il fait voir ce qui est à droite de la pupille à gauche dans le miroir et ce qui est à gauche de la pupille, à droite du miroir.

وبهذا التدبير نبين أنه إن كان الناظر ينظر من زَ التي هي المركز، لم ينعكس الشعاع لا إلى جهة آ ولا إلى جهة بَ؛ لا إلى جهة آ لأنه ليس يمكن أن تكون زاوية د ه حَ مساوية زاوية و ه زَ لأن زاوية ز ه د مثل زاوية ز ه ب، فزاوية حَ ه د أصغر من زاوية ز ه د؛ وأيضًا ولا إلى جهة بَ، لأن زاوية و ه ب بعض ز ه د، لأن ز ه د مثل ز ه ب. فإذا كان الناظر خارجًا عن المركز أبعد من سطح المرآة من المركز، لم ير الأشياء إلا في أضداد مواضعها؛ وأما إذا كان في المركز، فإنه لا يرى الأشياء في / خلاف مواضعها، ولا يرى / إلا بما كان على خط شعاع ل - ٦٨ - و
ه زَ لأنه ينعكس على ذاته، أعني أنه ينبثّ من الناظر من زَ الشعاع إلى ر - ٥٠ - و
هَ ويرجع على خط ه زَ إلى زَ.

فأما إذا كان أقرب إلى سطح المرآة من زَ التي هي المركز، فإنه يرى ما في جهة آ بالعلامات التي في جهة آ من قوس د آ وما في جهة بَ بالعلامات التي في جهة بَ من قوس ب د، كخط ه طَ، والناظر علامة طَ؛ فإن زاوية طَ ه د أصغر من زاوية ز ه ب التي هي مثل ز ه د. فيمكن أن ينعكس من هَ إلى وَ لأنه يمكن أن تصير زاوية و ه ب مساوية زاوية طَ ه د. فإذاً زاوية / طَ ه د أصغر من زاوية طَ ه ب ل - ٦٨ - ظ
كثيراً؛ وذلك ما أردنا بيانه./

<يد> ونبيّن أيضًا في هذه المرآة أنها تري اليمين يساراً واليسار ر - ٥٠ - ظ
يميناً.

فنقول: كل مرآة بَرْبَخية السطح المؤدّي ما قيل تكون مسطرتها المقوّمة لها قطعة من دائرة وشكلها كشكل قطعة أسطوانة مشقوقة طولاً تحيط بقاعدتيها قطعتان من سطح دائرة واحدة متساويتان - يلقى بها الناظر حتى يكون الخط الخارج من الناظر الواقع على الخط القاسم لها طولاً بنصفين - ويكون كل واحدة من قاعدتيها موازية لسطح الأفق ومركز قوسها فيما بين البصر وبينها، فإنها تري ما كان في يمين الناظر في شمال المرآة وما كان في شمال الناظر في يمين المرآة.

2 لا إلى جهة آ (الثانية): ناقصة [ر، ل] - 6 خارجًا: خارج [ر، ل، ع] / أبعد: بعيد [ر، ل، ع] / ير: يرى [ر] - 7 لا: ناقصة [ر] - 8 بما: ما [ر] - 12 في (الأولى): ناقصة [ل] - 12-13 آ من ... في جهة: ناقصة [ر] - 18 يساراً: يسار [ر] / يميناً: يمين [ر] - 20 كشكل: شكل [ع] - 21 قطعتان: قطعتين [ر، ع] - 22 متساويتان: متساويتين [ر، ل، ع] - 24 موازية: الموازية [ع] - 25 فإنها: فا [ر] / تري: مكررة [ر].

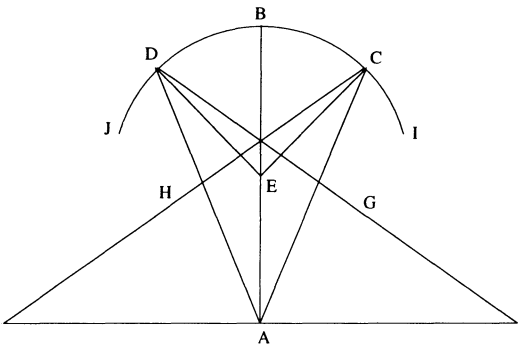
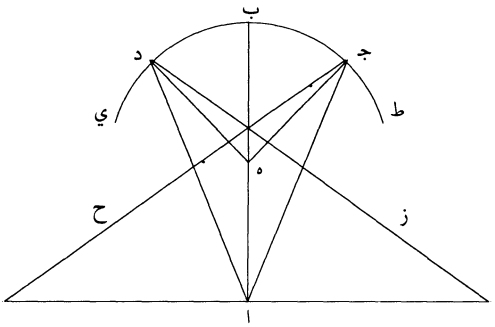


Fig. 14

Exemple : Supposons l'arc *IJ* l'un des arcs qui séparent le miroir en largeur – l'arc de son extrémité lui sera donc parallèle – et <supposons>
L-69r que la ligne de vision qui tombe sur lui / en un point et le sépare en deux
R-51r moitiés, soit la ligne *AB* ; / le point *B* sépare l'arc *IJ* en deux moitiés ; le point *A* est la pupille et la base du rayon de la pupille, l'arc *CBD* ; donc l'arc *CB* est égal à l'arc *DB* et la figure conique radiante qui émane de
O-39r l'œil entoure / le triangle qui la sépare en deux moitiés à partir du point de l'œil jusqu'à l'arc *CD*, soit le triangle *CAD* ; les lignes qui l'entourent sont les deux droites *AC* et *AD* et l'arc *CD* ; le centre de l'arc *IJ* est le point *E* appartenant à la droite *AB* ; les droites *EC*, *EB*, *ED* sont donc égales, car elles vont du centre à la circonférence et les angles qui sont de part et d'autre de ces trois droites qui sont les droites *EC*, *EB* et *ED*, sont égaux. Par conséquent, l'angle *ECB* et l'angle *ECI* sont égaux et la droite *AC* a partagé l'angle *ECI* en deux parties[21], donc l'angle *ACI* est plus petit
L-69v que l'angle *ECB* qui est égal / à l'angle *ECI*, donc il n'est pas possible que
R-51v le rayon *AC* se réfléchisse dans la direction de / *I*, car il n'est pas possible qu'il ne se réfléchisse que suivant un angle égal à <l'angle> *ACB*, étant donné que les rayons se réfléchissent suivant des angles égaux sur les arcs, sur les cordes intérieures aux arcs ou sur leurs dos. Par conséquent il est possible qu'il se réfléchisse dans la direction de *J* sur l'arc, car

[21] Litt. : moitiés.



مثال ذلك: أن نفرض قوس $\overline{ط ي}$ إحدى القسي التي تفصل المرآة عرضًا فيتوازى بها قوس نهايتها، ويكون خط النظر الواقع منها / على ل - ٦٩ - و نقطة تفصلها بنصفين، وهو خط $\overline{ا ب}$، / وعلامة $\overline{ب}$ قد فصلت قوس ر - ٥١ - و $\overline{ط ي}$ بنصفين وعلامة $\overline{ا}$ الناظر، وقاعدة شعاع الناظر قوس $\overline{جـ ب د}$، فقوس $\overline{جـ ب}$ مثل قوس $\overline{د ب}$، والشكل الصنوبري الشعاعي الخارج من البصر يحيط / بالمثلثة الفاصلة له بنصفين من علامة البصر إلى قوس ع - ٣٩ - و $\overline{جـ د}$ هو مثلث $\overline{جـ ا د}$؛ وخطوطه المحيطة به خطا $\overline{ا جـ}$ $\overline{ا د}$ المستقيمان وقوس $\overline{جـ د}$؛ ومركز قوس $\overline{ط ي}$ نقطة $\overline{ه}$ من خط $\overline{ا ب}$، فإن خطوط $\overline{ه جـ}$ $\overline{ه ب}$ $\overline{ه د}$ متساوية لأنها من المركز إلى المحيط، والزوايا التي عن جنبات هذه الخطوط الثلاثة التي هي خطوط $\overline{ه جـ}$ $\overline{ه ب}$ $\overline{ه د}$ متساوية. فإذاً زاوية $\overline{ه جـ ب}$ وزاوية $\overline{ه جـ ط}$ متساويتان وخط $\overline{ا جـ}$ قد قسم زاوية $\overline{ه جـ ط}$ بنصفين، فزاوية $\overline{ا جـ ط}$ أصغر من زاوية $\overline{ه جـ ب}$ المساوية / ل - ٦٩ - ظ لزاوية $\overline{ه جـ ط}$. فليس يمكن أن ينعكس شعاع $\overline{ا جـ}$ إلى جهة / $\overline{ط}$ لأنه ر - ٥١ - ظ لا يمكن أن ينعكس إلا بزاوية مساوية $\overline{ا جـ ب}$، إذ الشعاعات تنعكس على زوايا متساوية من القسي والأوتار في بواطن القسي وعلى ظهورها. فإذاً إنما يمكن أن ينعكس إلى جهة $\overline{ي}$ من القوس لأن زاوية

4 $\overline{جـ ب د}$: $\overline{ب جـ د}$ [ر، ل] – 7 خطا: خطي [ر، ل، ع] / المستقيمان: المستقيمين [ر، ل، ع] – 11 متساويتان: متساويتين [ر، ل] – 13 $\overline{ه جـ ط}$: $\overline{جـ ه ط}$ [ل] / فليس: كررها، ثم ضرب عليها بالقلم [ر] / لأنه: لان [ر] – 14 $\overline{ا جـ ب}$: $\overline{جـ ب}$ [ل].

l'angle *ACB* est plus grand que l'angle *ACI*. Nous supposons le rayon réfléchi la droite *CH*, donc toute chose sur la droite *CH* sera vue dans le miroir au point *C*. Par le même procédé, nous montrons que le rayon *AD* se réfléchit dans la direction de *I*, comme la droite *DG*.

Si le centre est plus loin du point *B* que le point *A* du <point> *B*, alors
L-70r le rayon / issu de *A* vers *C* se réfléchit dans la direction de *I*. De même, le rayon *AD* se réfléchit de *D* dans la direction de *J*. Par exemple, je dis que : on trace *E* dans la position de *A* et *A* dans la position de *E* pour que *E* soit plus loin que *A*, *E* étant le centre de l'arc *IJ*, les deux angles *ECI* et *ECB* sont égaux ; il n'est donc pas possible que le rayon qui est le rayon /
R-52r *EC* se réfléchisse <autrement> que sur lui-même et non sur aucun autre rayon[22]. Par conséquent, toute chose est vue par tout rayon qui se réfléchit sur lui-même, dans sa position ; les choses apparaissent alors dans leur position. Si on renverse ce miroir de sorte que sa surface devienne sa base perpendiculaire au plan de l'horizon, alors ce qui est en haut sera vu en bas et ce qui est en bas sera vu en haut, et le procédé est le même, car l'arc sur lequel tombe la perpendiculaire de la vision sera dès lors dressé sur l'horizon suivant des angles droits, et le procédé est le même. Ce qu'il fallait démontrer./

L-70v Nous avons ainsi achevé <l'examen> : des rayons menés de l'œil et qui tombent sur les miroirs polis ; comment les miroirs embrasent ; comment un petit corps apparaît grand, et un grand, petit, la gauche à droite, et la droite à gauche, le bas en haut, et le haut en bas, le visage inversé, et ainsi de suite, et tout ce qui se produit en cela.

---

[22] Ibn 'Īsā a annoncé l'hypothèse *BE* > *BA*, *E* est le centre du cercle et *A* la pupille. Il n'y a ni figure, ni conclusion correspondant à cette hypothèse. Ibn 'Īsā ne considère que les rayons issus de *E*.

ا جـ ب أعظم من زاوية ا جـ ط، فنفرض الشعاع المنعكس خط جـ ح، فكل شيء كان على خط جـ ح يرى من المرآة على علامة جـ. وبهذا التدبير نبين أن شعاع ا د ينعكس في جهة ط كخط د ز.

فأما إن كان المركز أبعد من نقطة ب من نقطة آ من ب، فإن
5 الشعاع / الذي يخرج من آ إلى جـ ينعكس إلى جهة ط. وكذلك شعاع ل - ٧٠ - و
ا د ينعكس من د إلى جهة ي. مثلاً: أقول إن نرسم ه في موضع آ وآ في موضع ه ليكون ه أبعد من آ، فإن ه إذ هي مركز قوس ط ي، فإن زاويتي ه جـ ط ه جـ ب متساويتان، فليس يمكن أن ينعكس الشعاع الذي هو
شعاع / ه جـ إلاّ على نفسه ولا واحد من الشعاعات. فإذاً إنما يرى ر - ٥٢ - و
10 الشيء في موضعه كل شعاع ينعكس على نفسه، فيرى الأشياء في مواضعها. فإن قلبت هذه المرآة حتى يصير سطحها قاعدتيها قائمتين على سطح الأفق على زوايا قائمة، فإنها يرى الفوق أسفل والأسفل فوق، والتدبير واحد؛ لأن القوس حينئذ التي يقع عليها عمود النظر، تكون منتصبة على الأفق على زوايا قائمة، والتدبير واحد؛ وذلك ما
15 أردنا بيانه./

فقد فرغنا من الشعاعات الخارجة من البصر الواقعة على المرايا ل - ٧٠ - ظ
الصقيلة، وكيف تحرق المرايا، وكيف تُري الجسم الصغير كبيراً والكبير صغيراً والأيسر أيمن والأيمن أيسر والأسفل أعلى والأعلى أسفل والوجه مقلوباً وغير ذلك، وكلما عرض في ذلك.

1 ا جـ ب: جـ ب [ل] - 3 جهة: سطح [ع] - 9 ولا: على [ع] - 15 بيانه: ناقصة [ع].

GLOSSAIRE ARABE-FRANÇAIS

Lorsque le mot se répète un grand nombre de fois en conservant le même sens, nous avons cité les dix premières occurrences. Chacune de ces occurrences est indiquée par les numéros de page et de ligne en chiffre arabe. Afin de distinguer le vocabulaire d'al-Kindī de ceux d'Ibn Lūqā, d'Ibn Īsā et de l'auteur anonyme, nous avons fait précéder les termes de ces derniers par les lettres Q, S et A.

أبد

أبدًا — toujours 173, 12 ; 207, 10, 17 ; 209, 8 ; 243, 21; 245, 6 ; 283, 19, 21, 22 ; ... ; jamais 379, 5

أتى — parvenir 363, 13 ; présenter (Q) 625, 10 ; achever (S) 667, 4

أثر — suite (Q) 645, 5 ; pas 173, 22, 25

أثّر — imprimer 136, 12 ; imprégner (Q) 583, 12

آثر — faire préférer (Q) 573, 8

أجل

من أجل هذا — c'est pourquoi (S) 677, 4, 14 ; 679, 16, 17

أخذ — prendre 373, 6 ; (Q) 597, 3 ; emprunter (Q) 573, 16, 17

آخذ — partant 335, 6

اتّخذ — retenir, considérer (Q) 573, 19 ; 581, 14 ; 639, 1, 4 ; 645, 13

آخَر م أخرى — autre 167, 11, 12 ; 211, 2 ; 215, 1 ; ... ; 363, 12 ; 369, 25 ; 371, 1, 3, 5, 6, 14 ; 379, 10, 13 ; 391, 9, 10 ; (Q) 575, 6 ; 587, 3, 5, 8, 12, 15, 16 ; (S) 659, 6 ; 663, 4 ; 667, 6

آخِر — dernier 169, 6 ; 223, 13; 331, 3 ; 431, 5 ; (S) 653, 14 ; 657, 18, 21, 22 ; 659, 3 ; 691, 1 ; fin 419, 19

أخير — dernier 173, 22, 24 ; 331, 5

أخّر (تأخير) — reculer 211, 14 ; 213, 13 ; 215, 8

نهايات مؤخّرات — extrémités terminales 315, 15

تأخر — reculer (S) 681, 4, 11, 23

متأخر — en retard 327, 11, 17 ; (A) 539, 12

أخو

إخوان — amis 163, 3

أدّى

مؤدّي — qui mène (S) 697, 20

أرض — sol (Q) 597, 25 ; 599, 6

أفق — horizon 199, 5, 8 ; 201, 7-9, 11-13, 15, 16 ; ... ; (S) 675, 7 ; 679, 6 ; 697, 25 ; 701, 12, 14

ألّف — composer (Q) 573, 2
تأليف — (composé) (S) 651, 2
مؤلّف — composé (Q) 627, 19 ; 643 , 16, 17

أمير — Prince (Q) 573, 5, 12, 19 ; 575, 25 ; 577, 2 ; 581, 14 ; 639, 2, 4 ; 645, 13

أنس
إنسان ج ناس — homme 225, 22 ; (Q) 573, 13 ; 577, 16 ; 581, 18, 19, 23, 28 ; 587, 12, 26 ; 589, 3, 6, 7
إنساني — humain 361, 9
أشياء إنسانية — choses humaines (Q) 573, 6-7, 14

أنف — nez (Q) 575, 14, 19 ; 581, 10 ; 601, 6, 14, 15 ; 631, 15 ; 633, 11, 14, 17, 18, 20 ; ...
آنفًا — précédemment 275, 3
استأنف — exposer par la suite (Q) 603, 17

الآن — maintenant (S) 651, 4 ; 653, 7 ; 663, 15 ; 671, 9, 12 ; 685, 1 ; 687, 20

أوّل م أولى — premier 163, 9 ; 165, 1 ; 173, 22, 24 ; 175, 8 ; 255, 6, 7 ; 331, 2, 5 ; 407, 17, 18 ; 415, 8 ; 431, 3 ; (Q) 577, 6 ; 581, 16 ; 633, 18 ; 639, 18 ; (S) 653, 11 ; initial 221, 16, 17 ; 315, 1 ; début 419, 21 ; (Q) 577, 1 ; (S) 675, 1
موضع أوّل — position initiale 221, 16, 17
ج أوائل — points extrêmes 321, 17 ; liminaires 425, 2 ; commencements (A) 539, 6
أوّلاً — d'abord 165, 11 ; 169, 17 ; 279, 9 ; 283, 8 ; 327, 13; 331, 1 ; (Q) 625, 2, 3 ; 641, 2 ; (S) 651, 6 ; 667, 13 ; 685, 9
آلة — instrument (S) 675, 11
آلات البصر — organes de la vision (Q) 587, 18

أيد
تأييد — soutien 361, 5

باب — chapitre (Q) 575, 27 ; 577, 5-9, 11, 12, 15, 17, 19, 21, 23, 25-28 ; ...

بئر — puits 213, 5

بتّة absolument, rien du tout 165, 6-7 ; 171, 14 ; 223, 14 ; (Q) 575, 21 ; 579, 23 ; 581, 12 ; 615, 15 ; 619, 4, 18 ; 623, 29 ; 625, 6, 9, 15, 23 ; ...

بثّ
انبثّ se disperser, émerger 163, 12; 167, 3 ; (Q) 581, 17, 21, 25 ; 583, 3-5, 8, 14, 26, 27 ; 585, 18 ; 591, 11 ; (S) 697, 9
انبثاث dispersion (Q) 585, 17
منبثّ dispersé 171, 15; 173, 15 ; qui émerge (Q) 585, 19, 20, 22 ; 591, 12, 16 ; 593, 8, 15, 19 ; 605, 27 ; 607, 1 ; ...

بخر
بخار vapeur (Q) 587, 18, 19
بخاري vaporeux (Q) 615, 20

بدأ commencer (Q) 625, 2 ; (S) 651, 6
بديًا au début (S) 683, 4
ابتدأ commencer 323, 8-10 ; (Q) 639, 17
مبتدأ ج مبادىء commencement 173, 22 ; 433, 10 ; (S) 657, 9 (S) 679, 23 commencement

بدل permuter 187, 20 ; changer 281, 5
متبادل alterné 391, 8 ; alterne-interne 395, 14 ; 411, 7, 9
تبدّل changer 277, 19 ; 281, 13
متبدّل qui change 279, 14 ; 283, 21 ; 297, 14, 19, 20 ; 299, 3
غير متبدّل inchangeable 285, 15 ; 287, 8

بَرْبَخ pointe (S) 671, 16 ; 673, 4
بربخية de forme cylindrique (S) 697, 20

برز
مبرّز distingué, éminent 173, 21, 25

برماذجات charnières 403, 4, 11

برهن
بُرهان ج براهين démonstration 169, 16, 19 ; 171, 5 ; 173, 24 ; 175, 13 ; 179, 1 ; 181, 1 ; 185, 7 ; 187, 18 ; 193, 8 ; ... ; 363, 7, 8, 11 ; 367, 9 ; 375, 14 ; 377, 1, 20 ; 381, 3 ; 383, 3 ; 387, 1 ; 389, 6 ; 391, 2 ; ... ; 425, 2 ; 431, 13 ; (Q) 575, 23 ; 627, 1 ; (S) 655, 9 ; 661, 3, 9 ; 669, 10 ; 671, 11 ; 673, 3, 5, 14 ; 675, 5
لا برهان لـ indémontrable 189, 11

براهين خطوطية — démonstrations géométriques (Q) 573, 17
العلوم البرهانية — sciences démonstratives (Q) 573, 14-15

بسط
بسْطًا — de manière élargie (Q) 623, 15
بسيط ج بسط — surface (Q) 597, 2, 3, 6 ; 609, 4 ; 619, 21, 23 ; 623, 11 ; 625, 19 ; 627, 13, 24 ; ...
– مسطح — surface plane (Q) 607, 18 ; 619, 15
– مستوٍ — surface plane (Q) 603, 7 ; 641, 7
– مقببٌ — surface convexe (Q) 603, 15 ; 617, 17 ; 611, 2-4 ; 619, 15
– مقعر — surface concave (Q) 603, 15 ; 619, 14, 16
– كري — surface sphérique (Q) 597, 3, 10, 11 ; 613, 5-6 ; 619, 22
انبسط — s'étendre (S) 681, 6
انبساط — extension, étendue (Q) 619, 14, 15, 18

بشر — hommes (Q) 573, 13

بصر (أبصر) — voir 163, 21 ; 165, 2, 4, 9, 10, 12 ; 171, 12 ; 173, 4, 5, 18, 27 ; ... ; (Q) 581, 17-19, 25 ; 583, 6 ; 585, 1 ; 589, 14 ; 597, 17 ; 609, 6 ; (S) 687, 20, 21 ; 689, 9 ; 693, 5
لا يُبصر — invisible 165, 10
بصر ج أبصار — vue 163, 16, 17 ; 165, 2, 9, 11, 17, 21, 24 ; 169, 16, 17 ; ... ; 361, 10 ; (Q) 577, 12 ; 583, 17 ; 589, 6 ; œil 169, 20, 23, 24 ; 171, 15 ; 293, 14, 16 ; 295, 1, 4, 7, 12 ; ... ; (A) 539, 4, 5, 10, 11 ; (Q) 577, 10, 11 ; 581, 20 ; 583, 6, 21, 26 ; 585, 7 ; 587, 13 ; 605, 17, 19, 22 ; ... ; (S) 669, 5 ; 685, 7 ; 689, 15, 19, 22 ; 697, 25 ; 699, 6 ; 701, 16 ; vision (Q) 577, 6, 7 ; 581, 16, 17, 24 ; 583, 1, 12 ; 587, 18 ; 589, 14 ; (S) 651, 3
بصري (انظر حسّ، مخروط، صنوبرة، شعاع) — visuel
باصر — voyant, qui regarde (Q) 583, 15, 17, 26 ; 627, 15
بصير — voyant (Q) 581, 28
مبصر ج ات — visible, ce qu'on voit 165, 1, 18 ; 167, 1 ; 173, 9, 10 ; 293, 14, 16 ; 299, 5, 9 ; (Q) 573, 20 ; 575, 1, 2, 6, 26 ; 577, 11, 19 ; 581, 17, 23, 28 ; ... ; (S) 685, 10 ; 687, 7, 12 ; 689, 20

بطؤ
بطيء — lent (Q) 599, 19
أبطأ — plus lent 317, 19 ; 319, 4, 6, 13, 16 ; 321, 15 ; 323, 1, 13 ; 327, 6 ; (A) 539, 7
إبطاء — ralentissement (Q) 599, 15, 18

بطل — s'annuler (Q) 633, 4, 5
بطلان — annulation 171, 13 ; fausseté 231, 4
باطل — erreur 173, 18

بطن
باطن
concavité (S) 671, 15
intérieur 375, 7 ; (S) 661, 4 ; 669, 3 ; 693, 22 ; 699, 15

بعث
انبعث (انبعاث)
émerger (Q) 581, 21 ; 611, 14 ; 623, 26 ; 629, 5, 6, 17 ; 631, 17 ; 633, 1 ; 637, 21 ; 645, 2
منبعث
émergeant (Q) 623, 15

بعد
s'éloigner 163, 13 ; 165, 15 ; 207, 9, 16 ; 261, 11 ; 263, 18, 21 ; 271, 14 ; 279, 18 ; ... ; (Q) 575, 7 ; 579, 25 ; 581, 12 ; 585, 6 ; 615, 18 ; 617, 6 ; ... ; (S) 683, 9
بُعْدٌ ج أبعاد
distance 169, 20 ; 175, 5 ; 177, 11 ; 179, 7, 11, 13 ; 181, 13-15, 20, 22 ; ...; 361, 8 ; 363, 10, 13, 19, 26 ; 365, 10, 14, 15, 17 ; ... ; 425, 7 ; 431, 4 ; (Q) 575, 7, 10-12, 14-16, 18, 20 ; 579, 22, 26 ; ... ; (S) 651, 11 ; 653, 12 ; 659, 8, 9, 14 ; 663, 12 ; 665, 2, 10 ; 675, 12 ; 681, 4, 23 ; ... ; longueur 365, 10, 12, 13 ; éloignement 171, 12 ; (Q) 577, 10 ; 583, 20, 21 ; 599, 5 ; 639, 18 ; écarts 179, 7 ; largeur (Q) 637, 2, 3, 15, 16, 19 ; loin (Q) 597, 18, 21, 22 ; 605, 7
بَعْدَ
après, en deçà 165, 9 ; 173, 20 ; 323, 15 ; 363, 13 ; une fois (Q) 579, 27
بعيد
loin, lointain (Q) 597, 17 ; 599, 17
أبعد
plus éloigné 169, 23 ; 171, 4 ; 179, 8, 16 ; 181, 7, 9, 16 ; 199, 3, 4, 7, 10, 11 ; ... ; (A) 539, 5, 12 ; (Q) 587, 13, 15 ; (S) 685, 9 ; 693, 24 ; 695, 2 ; 697, 6 ; 701, 4, 7
يوضع من إبعاده
il est placé éloigné (Q) 619, 5
باعد
éloigner 173, 26 ; 175, 1, 2 ; (Q) 575, 9, 11, 13, 15, 17, 19 ; 577, 11 ; 617, 16 ; 623, 21 ; 625, 1 ; 633, 14 ; ...
تباعد
s'éloigner 209, 6 ; 319, 5, 13, 15
أشدّ تباعداً
beaucoup plus écarté 179, 8-9, 15 ; 181, 5, 6, 17
متباعد
écarté 185, 1 ; éloigné, qui s'éloigne 197, 1 ; 317, 19 ; 319, 14

بعض
partie 225, 12, 24 ; 239, 21 ; 243, 4, 14 ; 381, 14, 15 ; (Q) 599, 7 ; 615, 6 ; 621, 14 ; (S) 693, 16 ; 697, 5
بعض
certains 163, 3 ; 255, 5 ; (Q) 581, 1, 7, 9 ; 587, 3 ; 625, 12 ; 629, 1 ; 631, 14
بعضها بعض
les uns les autres 185, 16 ; 217, 12 ; (S) 661, 2 ; 663, 8 ; 677, 22

بغي
ينبغي أن
il faut que 263, 8 ; devoir (S) 695, 6

بقي
rester 213, 2, 16 ; 221, 10 ; 225, 12 ; 269, 14 ; 271, 4 ; 287, 3 ; 303, 3 ; 305, 18 ; 309, 16 ; 369, 7 ; 371, 5 ; 377, 3 ; 383, 8 ; 387, 5 ; 389, 7 ; 393, 6 ; 397, 1 ; 399, 6 ; 401, 2, 4, 6 ; ... ; 431, 13 ; (S) 655, 9 ; 669, 15 ; 687, 2, 15 ; 689, 6 ; 691, 15
باقٍ
qui reste 255, 18 ; 261, 3, 4 ; 329, 21 ; 371, 5, 6 ; 407, 7 ; 405, 5 ; 419, 15

بكر
بكرة roue 273, 12, 14, 20 ; 275, 6

بلّ
أبلّ mouiller (Q) 589, 7

بلغ (بلوغ) accéder 163, 10 ; 309, 19 ; permettre 363, 12 ; parvenir (Q) 585, 7 ; (S) 681, 5
بلوغ طاعته pour honorer sa volonté (Q) 577, 3

بلورة cristal (S) 673, 7, 8, 10, 12, 13

بنفسجي violet (Q) 575, 17 ; 627, 20

بهم
بهيمي animal 361, 10

بياض blanc (Q) 627, 16, 18, 21, 22 ; 631, 24 ; 643, 17

باد
أباد anéantir 361, 6

بان
بيان preuve 407, 14 ; (Q) 583, 25 ; 589, 19 ; clarté (Q) 595, 9
بيانًا واضحًا de manière claire (Q) 609, 8 ; 615, 24 ; 625, 10, 16 ; 629, 11
بيانًا حسيًا de façon sensible 635, 5
بيّنٌ clair 267, 11 ; 269, 23 ; 273, 3, 6 ; (S) 691, 8 ; distinct (Q) 575, 9
بيّنة démonstration
بيّن montrer 173, 1 ; 177, 9 ; 181, 8 ; 183, 11 ; 195, 8 ; 201, 6 ; 211, 9 ; 213, 1 ; ... ; 363, 9 ; 367, 11, 14 ; 369, 13, 16 ; 373, 5 ; 379, 13 ; 383, 1 ; 415, 4 ; (Q) 575, 26 ; 581, 14 ; 595, 2 ; 599, 9 ; 603, 16 ; 605, 18 ; 607, 15 ; 609, 13 ; ... ; (S) 651, 6, 17 ; 653, 2, 7 ; 657, 13 ; 659, 6 ; 663, 15 ; 667, 6 ; 669, 1, 12, 17 ; ... ; établir 369, 14 ; voir 385, 1 ; éclairer (Q) 573, 15
وذلك ما أردنا أن نبيّن Ce qu'il fallait démontrer 171, 11 ; 175, 6 ; 177, 10 ; 179, 5 ; 181, 11 ; 187, 6 ; 189, 9 ; 191, 14 ; ... ; 365, 8 ; 369, 12-13 ; 375, 15 ; 377, 10 ; 379, 3 ; 381, 17-18 ; 383, 16 ; 385, 3-4 ; 387, 8-9 ; 389, 10 ; 427, 7
هنالك نبين dès lors, nous montrons 195, 8 ; 201, 6 ; 241, 5 ; 259, 1 ; 261, 11 ; 271, 10 ; 279, 6 ; 285, 5 ; 297, 5 ; 383, 1 ; 391, 21 ; 393, 11
وذلك ما أردنا بيانه ce qu'il fallait démontrer (S) 653, 6 ; 659, 5 ; 663, 13-14 ; 667, 5, 16 ; 671, 8 ; 673, 14 ; 679, 25 ; ...
أبين plus distinct, plus distinctement 165, 14, 26 ; 169, 20 ; 171, 3, 10

أبان (إبانة) établir (A) 539, 7 ; élucider (Q) 575, 23 ; montrer (Q) 595, 14
إبانة clarté 165, 25
نحن مبينون nous allons montrer 165, 26 ; 363, 11
تبيين explication 335, 14
تبيّنَ montrer 217, 15 ; 221, 18, 21 ; 225, 13 ; 269, 15, 18 ; 271, 6, 8, 10 ; 391, 5 ; 407, 8 ; 425, 2 ; (Q) 593, 11 ; 619, 17 ; 623, 10 ; 629, 17 ; 631, 25 ; 635, 11 ; 639, 2 ; 643, 5, 8 ; (S) 653, 4 ; 657, 15 ; 663, 11, 12 ; 679, 21

تبع
اتبع faire suivre (Q) 575, 27 ; poursuivre (Q) 595, 19, 20

تحت au-dessous, sous 165, 19 ; 191, 15 ; 215, 12 ; 221, 15, 16 ; 383, 13

تعب fatigue (Q) 573, 8

تقن
اتقن (اتقان) perfectionner 375, 2
أتقن plus perfectionné 409, 11

تمّ achever 335, 14
تتمة achèvement 393, 15
تمّم compléter, achever 363, 12 ; 377, 15 ; 379, 7
متمم complément 261, 3, 5 ; qui achève 377, 12 ; 385, 3, 7 ; 387, 13, 15 ; 389, 1, 12, 13, 15 ; 391, 10, 11, 13, 23 ; ...

تور
تارة tantôt, parfois 273, 12, 17 ; 321, 15 ; 327, 9, 10 ; (A) 539, 5, 11 ; (Q) 575, 17 ; 581, 4, 5 ; 627, 10, 11, 17, 18, 24, 25 ; ...

ثبت fixer 275, 12
أثبت (إثبات) fixer 221, 12 ; (Q) 597, 4 ; établir 363, 3
ثابت fixe 279, 6, 10 ; 285, 8 ; 293, 15 ; 315, 6 ; (Q) 631, 10 ; constant 287, 5 ; immobile 317, 17
نحن مثبتون nous allons établir (Q) 619, 18

ثخن masse (Q) 633, 14

ثقب trou (S) 675, 8 ; 677, 21, 22 ; 679, 7

ثُلْث tiers 387, 13, 14 ; 397, 12, 16 ; 399, 6, 10 ; 419, 21 ; 431, 1, 8 ; (S) 655, 4
ثلاثة trois 237, 5 ; 405, 4 ; 49, 14 ; 51, 1 ; 415, 4 ; (Q) 575, 12, 19 ; 581, 10 ; 583, 2 ; 595, 14 ; 601, 14 ; 603, 13 ; 631, 14, 25 ; ... ; (S) 681, 15, 21 ; 683, 8, 9 ; 699, 10

ثالث troisième 311, 2 ; 407, 9, 10, 19 ; 415, 9 ; (Q) 575, 13 ; 577, 3 ; 599, 26 ; 631, 26 ; 633, 13

تثليث forme triangulaire 375, 11

مُثلَّث ج ات triangle 175, 13 ; 177, 4 ; 185, 7 ; 187, 18-20, 22 ; 189, 1, 2 ; 191, 6 ; ... ; 369, 7, 9 ; 371, 9, 10 ; 375, 11 ; 377, 3, 4 ; 397, 1 ; 407, 2, 3, 8 ; ... ; (Q) 605, 21; (S) 699, 6, 7

- متساوي الأضلاع triangle isocèle 371, 9-10

ثُمْن ج أثمان huitième 391, 2, 3

ثمانٍ huit (Q) 575, 10

ثامنٌ huitième (Q) 577, 17

ثمانية عشر dix-huit 403, 14 ; 405, 1-2

ثمانٍ وأربعون quarante-huit (Q) 575, 18

ثنى

اثنان paire 251, 8 ; deux (Q) 575, 12 ; 633, 16 ; (S) 679, 6 ; double (Q) 585, 15, 22

ثانٍ deuxième (Q) 577, 7 ; 599, 21

ثانيًا en second lieu 165, 11

ثوب

مثوبة récompense (Q) 577, 3

جدّ

جدًا très 165, 10 ; (Q) 575, 8, 15 ; 619, 4 ; 625, 6 ; 633, 3 ; (S) 651, 5 ; fort 175, 4

جذر ج جذور racine 191, 8, 9

جرم ج أجرام corps 361, 8, 9 ; 377, 20 ; 379, 12 ; 413, 13 ; (Q) 577, 15, 18, 20, 21 ; 587, 25, 28 ; 589, 1-4, 6, 15, 18 ; ... ; (S) 685, 10, 11 ; 687, 10 ; 689, 18

- سيالة corps liquides (Q) 589, 1

- شعاعي corps radiant (Q) 589, 21

- يابس corps sec (Q) 589, 2

جزء ج أجزاء partie 173, 6, 9 ; 217, 18 ; 383, 10, 15 ; (Q) 601, 7, 9 ; 603, 15 ; 631, 13 ; 633, 11 ; 643, 21-23 ; (S) 679, 24

جزئي particulier 255, 2

جسم

جِسْم ج أجسام corps 163, 18 ; 173, 7, 8, 12 ; 209, 9 ; 211, 9, 10 ; 425, 3, 11 ; (Q) 589, 12 ; 627, 19 ; (S) 663, 25 ; 671, 10 ; 673, 8 ; 681, 8, 16, 19, 21-23 ; 683, 3, 5, 7, 9 ; ...

– صقيل	corps poli (S) 663, 25 ; 671, 10 ; 673, 8-9
جعلَ	faire 433, 6, 8 ; (S) 657, 2, 4, 6 ; rendre (Q) 575, 25 ; poser (Q) 583, 9, 25 ; 585, 2, 4, 5 ; 589, 19 ; 593, 11 ; 595, 23 ; 605, 18 ; 615, 24 ; ... ; (S) 677, 8
جلّ	
جليل	substantiel 163, 9
جمع	réunir, rassembler (Q) 573, 10, 12
مجموع	ensemble (Q) 639, 26 ; somme (S) 679, 13, 15, 16, 17, 19, 20
جميع	tous, tout entier 165, 2 ; 169, 1, 3, 4, 13 ; 195, 5 ; 217, 13, 14 ; 227, 9 ;... ; 367, 13 ; 373, 11 ; 391, 5 ; 397, 5 ; 405, 5 ; 407, 12 ; (Q) 573, 13 ; 587, 26 ; 593, 3 ; 597, 6 ; (S) 661, 14 ; 663, 11 ; 671, 6 ; 677, 21 ; 679, 21
أجمع	tout 163, 12
مجمع	qui rencontre 405, 4
اجتمع	se réunir 363, 9 ; (Q) 573, 18 ; 581, 13 ; 585, 18 ; 633, 13 ; 639, 1 ; (S) 683, 3, 4 ; se rencontrer 405, 2
اجتماع	réunion 375, 14 ; (Q) 587, 18 ; (S) 681, 22 ; 683, 12
أكثر اجتماعاً	de plus en plus concentré (Q) 619, 17
مجتمع	concentré (Q) 619, 14 ; assemblé, réuni (S) 659, 12 ; 661, 1
جمل	
جملة	somme 413, 6 ; tout entier (Q) 601, 10
بالجملة	d'une manière générale (Q) 587, 22 ; en général (Q) 603, 2
جميل	beau (Q) 599, 23
جنب	côté 365, 13 ; 367, 6
جنبة	côté 243, 19 ; 245, 2, 8 ; (S) 663, 21
عن جنبتي ...	de part et d'autre 419, 12 ; (Q) 623, 8 ; (S) 699, 10
جانب	côté (Q) 575, 6, 7
جنس ج أجناس	genre 361, 10 ; (Q) 583, 8, 10
جوّ	air 163, 12 ; 205, 17
جود	générosité (Q) 645, 13
جوهر	substance (Q) 595, 5
جهل	
مجهول	inconnu 211, 7 ; 213, 3, 18 ; 215, 10 ; 397, 2

جاز permettre 235, 11 ; aller au delà 261, 16 ; dépasser 263, 1; 309, 7 ; 321, 18 ; 323, 13 ; (Q) 597, 6 ; 631, 19 ; 639, 13, 22 ; 643, 3
جائز qui passe 231, 22
جاوز dépasser 165, 23 ; 171, 12 ; (A) 539, 7
أجاز faire passer 299, 13 ; 329, 1
تجاوز dépasser (Q) 643, 22

جوف
مجوف creux (Q) 581, 22 ; (S) 671, 17

حبّ aimer (Q) 573, 13
حبّ amour (Q) 573, 11
أحبّ désirer 163, 10 ; aimer 363, 14
محبّ celui qui aime 363, 14
محبّة amour (Q) 573, 5, 13

حجز
حاجز ج حواجز obstacles (Q) 581, 20, 26 ; 589, 10

حَدّ déterminer 235, 2, 4, 13, 15 ; 327, 4 ; 369, 11 ; 385, 5, 9 ; 387, 10 ; 399, 13 ; 433, 9 ; (Q) 629, 10 ; (S) 657, 6 ; délimiter 419, 15 ; définir (Q) 595, 4, 22 ; 597, 1, 8 ; caractériser (Q) 577, 25-27
حدٌّ limite 239, 13 ; (S) 681, 4
حادّة (زاوية) aigu 285, 16 ; 411, 5, 7
حديد fer (Q) 589, 3 ; 595, 7 ; (S) 667, 15
محدود limité 425, 7 ; caractérisé (Q) 579, 13 ; déterminé (Q) 579, 26 ; 581, 2 ; 619, 9 ; 625, 13 ; (S) 669, 7 ; 675, 2, 3, 6 ; 681, 3, 4 ; 683, 12
غير محدود indéterminé 323, 6 ; 325, 17 ; 329, 2
مستحدّ sommet 163, 13, 15 ; (Q) 583, 14

حدب convexité (Q) 577, 24
حدبة convexité 167, 8 ; 169, 5, 8 ; (S) 671, 7 ; 673, 10, 12

حدث (أحدث) engendrer, former 211, 3 ; 249, 4, 5 ; 261, 8, 12 ; 255, 14, 17, 18 ; 289, 6 ; 297, 16 ; ... ; 367, 15 ; 369, 7 ; 375, 11 ; (Q) 597, 3, 11 ; 613, 5, ; 619, 21 ; 623, 5 ; 625, 19 ; (S) 661, 19 ; se produire (Q) 587, 9, 19 ; (S) 681, 22 ; résulter (Q) 595, 11
حادث engendré, formé 245, 13 ; 263, 7 ; 267, 17, 18 ; 269, 2 ; 369, 7 ; 403, 4 ; produit 361, 8

حدق

pupille (Q) 627, 18, 19, 21 ; 643, 17	حدقة
fixer (par la vue) (Q) 587, 12, 13, 15 ; 589, 6	حدّق (تحديق)
	حذر
interdit 335, 13	محذور
	حذو
mettre parallèlement (Q) 597, 24	حاذى
vis-à-vis 229, 3	محاذاة
chaleur 373, 12	حرّ
	حرب
ceux qui font la guerre 363, 2	محاربون
lettre 165, 18	حرف ج حروف
bord 213, 7 ; (S) 663, 3	حرف
inclinaison 287, 16	انحراف
incliné 287, 15 ; dévié 275, 11	منحرف
	حرق
brûler 363, 2 ; 389, 10 ; embraser (Q) 599, 4, 5 ; (S) 651, 4 ; 653, 14 ; 665, 1, 10 ; 667, 1 ; 671, 13 ; 681, 3, 5, 6, 10 ; ... ; incendier (S) 681, 1, 2, 7 ; 683, 11	أحرق
embraser fortement (Q) 599, 14	أحرق إحراقًا قويًا
embrasement 373, 13 ; 375, 1 ; (Q) 599, 14-17, 19 ; (S) 653, 8 ; 659, 4 ; 663, 9, 16, 24 ; 665, 4 ; 667, 7, 12 ; 673, 2, 5 ; ...	إحراق
ardent 373, 5 ; embrasant (S) 659, 12	محرِق
incendié (S) 681, 4, 5, 10, 11-13, 16, 17, 19	مُحرَق
embraser (S) 665, 1 ; 667, 14	احترق
	حرك
mouvoir (S) 683, 1, 2, 6, 7	
mouvement 165, 24 ; 221, 19 ; 273, 12 ; 283, 4 ; 285, 7 ; 317, 3 14, 16, 17, 19, 24 ; ... ; (A) 539, 3 ; (Q) 627, 17	حركة
mise en mouvement (S) 681, 11, 12	تحريك
se mouvoir 281, 12 ; 283, 11 ; 285, 7 ; 297, 7, 13 ; 317, 16 ; 323, 15	تحرّك
mobile 167, 1 ; 315, 1, 6 ; en mouvement, mû 317, 3, 14, 15, 23 ; 319, 10 ; 321, 12 ; 323, 3, 9, 10 ; ... ; (A) 539, 10	متحرك
à plus forte raison (Q) 619, 6	كان أحرى بأن

حسٌ	sentir 163, 18 ; percevoir 243, 14 ; 425, 8
حسّ	sensation 165, 8, 14 ; 175, 3 ; 189, 13 ; 191, 10, 11 ; 223, 3, 9 ; 225, 15 ; 235, 15 ; ... ; (S) 651, 9, 18 ; 655, 12 ; 659, 6 ; 661, 9
حسّ بصريّ	sens visuel 173, 13 ; (Q) 585, 10, 13
حسّي	sensoriel (Q) 573, 17 ; sensible (Q) 583, 25 ; 589, 19
حاسة	sens (Q) 581, 24 ; 583, 17
محسوس	senti 165, 9 ; 173, 14, 15 ; sensible 173, 20 ; 191, 5 ; (Q) 637, 20
حسب	
على حسب	suivant 419, 17
هو حسبي	c'est Lui qui nous suffit (Q) 577, 4
حسن	
على حسنِ معاشرة	pour bien vivre (Q) 573, 10
أكثر حسنًا	de plus beau (Q) 573, 18
أحسن	meilleur (Q) 573, 14, 15
حصر	entourer 259, 10
محصور	limité (Q) 577, 24
غير محصور	illimité (Q) 595, 10
حصل (حاصل)	obtenir 377, 6, 8
حض	
حضيض	bassesse (Q) 573, 9
حطّ	
انحطّ	s'abaisser 205, 24 ; 207, 1
حفز	
تحافز	s'accumuler (Q) 587, 18
متحافز	accumulé (Q) 587, 19
حقّ	vrai 163, 6 ; vérité 173, 18
حقيقة	exactitude (Q) 595, 9
بالحقيقة	en réalité 179, 5 ; 225, 20 ; 235, 14 ; 249, 15
حقيقي	réel (Q) 573, 20 ; 575, 5 ; 579, 16, 18, 20 ; 601, 3 ; 603, 11, 12, 21, 22, 25 ; ...
يعدم تحقيقه	sans le vérifier 235, 17
حكم	soumettre à une règle (Q) 625, 6-8
حكمة	sagesse (Q) 645, 13

حكى rapporter 309, 20

حاجة besoin (Q) 595, 10
احتاج إلى falloir, être requis (Q) 575, 23, 25 ; 613, 1, 18 ; 615, 6

حارِ
مِحْوَر axe 221, 19 ; 413, 5 ; (S) 679, 9, 25

حاز contenir 227, 11 ; entourer 235, 7 ; 243, 13

حاط
حائط mur (Q) 597, 25 ; 599, 6
أحاط entourer 163, 14, 19, 20 ; 165, 13, 23 ; 173, 19 ; 187, 1 ; 193, 9 ; 213, 10 ; 219, 4, 8 ; ... ; 433, 7, 8, 12 ; (S) 651, 7 ; 657, 5, 11, 14, 15 ; 697, 22 ; 699, 6 ; inscrire 221, 6, 7 ; circonscrire 221, 11
être limité (Q) 583, 18 ; 593, 8, 9, 15, 19 ; 605, 27, 28 ; 607, 1, 2 ; ...
محيط qui comporte 163, 9 ; limité, entouré 185, 11, 12 ; 187, 3, 4 ; 193, 10 ; 231, 11 ; 263, 22 ; 277, 19 ; 287, 1 ; (S) 651, 7 ; 659, 9 ; 663, 21 ; 687, 8 ; 699, 7
محيط circonférence 185, 15 ; 221, 9 ; 227, 7, 13 ; 239, 23 ; 245, 5 ; 259, 13 ; 261, 14 ; 263, 5, 14, 17, 20 ; (Q) 627, 3, 4 ; (S) 651, 16 ; 653, 12 ; 663, 13 ; 669, 3 ; 699, 9
خط محيط circonférence 363, 22

حال ج أحوال cas 175, 4 ; 235, 15 ; 273, 3 ; état 279, 12 ; 281, 5, 13 ; 283, 4, 13, 15, 23 ; ... ; (Q) 587, 17, 19 ; 619, 17

حولٌ (loucher) (Q) 587, 4 ; strabisme (Q) 587, 4, 10, 19
حال حولاً changer de place (Q) 631, 23
حول entourage (Q) 573, 10 ; puissance (Q) 645, 13
حولان strabisme (Q) 633, 8
أحول celui qui louche (Q) 587, 4
حيلة procédé ingénieux 375, 1
أحال faire dévier 165, 23 ; 167, 1

حول
محال impossible 171, 16, 17 ; contradiction 173, 10

حيّ vivant 163, 17
حيوانات animaux (Q) 583, 6

حين
moment (S) 675, 4
حينئذ
dès lors (S) 701, 13
في بعض الأحايين
parfois 165, 18

خبرَ
rappeler (S) 655, 12
خبرٌ
connaissance 363, 6 ; témoignage 375, 3

خدم (خدمة)
servir (Q) 577, 4

خرج (أخرج)
mener 167, 4, 7, 12, 17 ; 169, 1, 3, 4, 6, 9, 10 ; ... 363, 17 ; 365, 15 ; 367, 9 ; 369, 17 ; 375, 6, 10, 12, 13 ; 377, 1, 16 ; ... ; 425, 16 ; 431, 8 ; (Q) 613, 7 ; (S) 651, 10, 11, 14, 16 ; 655, 4 ; 659, 7, 9, 15, 16 ;
émaner 363, 26 ; 375, 9 ; 379, 12 ; 381, 8 ; (Q) 605, 20, 22 ; 607, 16 ; 609, 10 ; 615, 7, 8 ; ... ; propager 431, 15 ; (S) 655, 11 ;
s'écarter (Q) 597, 21, 23
خرج على استقامة
prolonger 199, 13-14 ; 203, 17 ; 213, 11 ; 217, 2, 5, 6 ; 229, 11 ; 243, 16-17 ; ... ; 377, 1 ; 399, 8 ; 407, 15 ; 411, 3-4 ; 413, 16, 17 ; (Q) 605, 24 ; 607, 3-4 ; 629, 14 ; (S) 691, 3, 4
خارج
extérieur 199, 6, 9 ; 201, 7, 14 ; 203, 5, 12 ; 205, 11, 18 ; 207, 8, 13 ; ... ; (S) 651, 19 ; 685, 8 ; 693, 24 ; 697, 6 ;
au delà (Q) 611, 8 ; mené 165, 14 ; 167, 10, 12, 15 ; 169, 21, 24 ; 191, 2, 12 ; 197, 8 ; 203, 16 ; ... ; 377, 9 ; 379, 9 ; 381, 17 ; 385, 2, 6, 8 ; 389, 1, 2, 16 ; 391, 7, 14, 21 ; ... ; 431, 11, 14 ; 433, 1 ; (A) 539, 4 ; (Q) 643, 12 ; (S) 651, 13 ; 653, 5 ; 655, 7, 10, 14 ; 659, 13 ; 661, 3, 5 ; 663, 13, 19, 21 ; ... ;
qui émane 373, 1, 2 ; 379, 10 ; 381, 10, 11 ; 387, 1 ;
s'écartant (Q) 601, 3 ; présente des écarts (Q) 601, 23 ; 603, 10
مُخْرج
prolongé 243, 17 ; obtenu 255, 6 ; issu 393, 8 ; mené (Q) 621, 1-3 ; 635, 8
علم مخارج الشعاعات الشمسية
science de l'émission des rayons solaires 361, 7

خرط
مخروط ج ات
cône 163, 17 ; 221, 12, 13 ; 239, 12, 13, 18, 24 ; 241, 1, 4, 5, 9, 10 ; ... ; (Q) 583, 14, 19, 23, 26-28 ; 585, 6, 18, 20 ; 589, 21 ; ...
- بصري
cône visuel (Q) 583, 17 ; 585, 18, 19
- أسطواني
cône cylindrique 163, 14 ; 243, 16, 22 ; 247, 3
- شعاع
cône du rayon (Q) 583, 26
- شعاع بصري
cône du rayon visuel (Q) 605, 21
- شعاعي (انظر الصنوبرة الشعاعية)
cône radiant (Q) 583, 16 ; 585, 21-22 ; 593, 14 ; 625, 22
انخراط
forme conique (S) 671, 17

خرق
percer 401, 17
خرق
ouverture 401, 17, 18

خاصّ	particulier (Q) 575, 27
خاصّ	propriété 361, 10
خاصةً	surtout 363, 7
خاصي	particulier (Q) 603, 17
أخص	approprié (S) 655, 13
خطّ	tracer 187, 12 ; 221, 11 ; 259, 6 ; 279, 16 ; 281, 17 ; 293, 17 ; 297, 11 ; 299, 10 ; 301, 14 ; 311, 15 ; ... ; 365, 10, 13 ; 367, 2, 5 ; 409, 13
خطّ على	circonscrire 185, 7 ; 269, 22
خطٌّ ج خطوط	droite, ligne 167, 9, 15, 16-18 ; 169, 2, 5-7, 9, 10, 12, 15 ; ... ; 363, 16, 17, 20-22 ; 365, 1-5, 7, 11-16 ; ... ; 425, 6, 7, 11-14 ; 427, 2, 6 ; 431, 8, 16 ; 433, 2-4, 6, 13 ; (A) 539, 3, 10 ; (Q) 583, 25 ; 585, 8 ; 589, 20, 22, 23 ; 591, 13-16 ; ... ; (S) 651, 12, 14, 15, 18 ; 653, 2, 3, 9 ; 655, 12, 14, 16 ; ...
– محيط	circonférence 363, 22
– استوائي	droite équinoxiale (S) 675, 10
– شتوي	droite solsticiale d'hiver (S) 675, 11-12
– صيفي	droite solsticiale d'été (S) 675, 10-11
– نصف النهار	droite méridienne (S) 675, 7
– مستقيم	droite 167, 4, 7, 10, 11, 15 ; 169, 21, 24 ; 175, 11 ; 179, 1-2, 11 ; 363, 17, 24 ; 383, 10 ; 403, 3 ; (A) 539, 9, 12 ; (Q) 583, 18 ; 627, 1 ; (S) 651, 10, 14-15, 18-19 ; 669, 1, 4 ; 675, 13 ; 685, 5 ; 687, 10 ; 699, 7
– هندسي	ligne géométrique (Q) 609, 8
خطوطي (انظر برهان، شكل، مثال)	géométrique
مخطوط	tracé 409, 16
خطأ	erreur 163, 3, 7 ; 171, 14 ; (Q) 573, 8
خطر	importance 361, 7
خفض	abaisser 205, 2
انخفض	être abaissé 203, 8, 15
انخفاض	concavité (Q) 575, 4 ; creux (Q) 605, 16
منخفض	en creux (Q) 595, 25 ; 597, 13
خفي	disparaître (Q) 577, 11 ; 619, 5 ; 637, 22 ; 639, 24 ; 643, 26 ; 645, 11
خفية	disparition (Q) 619, 7
أخفى	plus voilé 165, 15
خلل	défaut 373, 10

خلف

خلفٌ absurde 233, 6, 8, 10 ; 381, 15 ; 383, 12 ; différent 173, 13 ; 255, 23 contradiction 165, 10

إلى خلف en arrière (S) 671, 14 ; 673, 5

خلاف opposé 231, 22 ; 235, 23 ; 323, 1 ; différent (S) 695, 7 ; 697, 8

خالفَ différer, être différent 253, 16 ; 255, 3 ; 275, 10

مخالف différent 257, 2 ; 281, 7 ; 329, 21 ; opposé 409, 2 ; opposé (Q) 625, 2

قطع مخالف الوضع section antiparallèle

تخلّفَ manquer 163, 10 ; délaisser 231, 18 ; 235, 16

متخلّف en retard, qui suit 315, 5, 6, 14 ; 317, 10, 12, 18, 20

اختلفَ être différent, varier 207, 9 ; 243, 21 ; 245, 6 ; 311, 8, 10 ; 319, 10 ; différer (Q) 577, 23 ; 583, 23 ; 587, 9 ; 595, 5

اختلاف différence 189, 13 ; 287, 13 ; (Q) 587, 27 ; 595, 6, 8, 10-13 ; inégalité 255, 21 ; (Q) 599, 2 ; diversité (Q) 573, 1 ; 573, 24, 26 ; 581, 15 ; 583, 22 ; 599, 22 ; 639, 2 ; irrégularité (Q) 597, 15, 27, 28

اختلاف متباين bien distinct (Q) 587, 21

مختلف différent, inégal 169, 20 ; 177, 11 ; 179, 7 ; 181, 16 ; 183, 12 ; 185, 2 ; 187, 7 ; 199, 3 ; 203, 4 ; 253, 16 ; ... ; (A) 539, 11 ; (Q) 575, 6, 16 ; 577, 9 ; 579, 8, 10 ; 581, 4 ; 583, 20, 22 ; 585, 17 ; ... ; (S) 659, 1, 8, 15 ; irrégulier (Q) 597, 19

خلق، خلقة forme (Q) 575, 9 ; 599, 4, 21, 23 ; facture (Q) 601, 10, 14 ; 603, 7, 10, 13 ; 639, 9

الأخلاق الجميلة les bonnes mœurs (Q) 573, 7, 9

خلا manquer 165, 4

لا يخلو ne peut que 283, 5

خمسة cinq 405, 5

خمسة وعشرون vingt-cinq 405, 1, 6

خمص

أخمص creux (Q) 597, 4

خير bien 163, 5

خيط fil (S) 679, 22, 23

دبر

دبّر (تدبير) administrer (Q) 573, 11

مدبر qui s'éloigne 315, 13

تدبير procédé 169, 12 ; 177, 9 ; 181, 8 ; 183, 9 ; 195, 4 ; 199, 1 ; 203, 3 ; 217, 19 ; 225, 13 ; 235, 15 ; 237, 9 ; ... ; 375, 14 ; 391, 5 ; 407, 6, 12 ; 413, 8, 9 ; 419, 15 ; (S) 653, 2 ; 657, 20 ; 661, 14 ; 687, 4, 17 ; 689, 8, 14 ; 697, 1 ; 701, 3, 13, 14

إدبار éloignement 319, 9

دجلة Tigre (Q) 589, 9

دخل pénétrer (S) 675, 2, 8 ; 677, 22 ; 679, 21 ; entrer 681, 6

داخل intérieur 241, 12 ; 273, 5, 6 ; 321, 5 ; (S) 653, 1 ; 673, 4, 9, 10, 11, 13 ; qui englobe 255, 8

أدخل introduire (S) 679, 9

درك quête 163, 6

أدرك percevoir 163, 16, 17 ; 165, 6, 8, 13, 17, 25 ; 173, 7, 8, 13 ; ... ; (Q) 581, 24 ; 583, 10, 16, 17 ; 585, 10, 13 ; 623, 18 ; 635, 3

إدراك perception (Q) 595, 10

إدراك حسّي perception sensorielle (Q) 573, 17

مدرك ce qu'on perçoit 173, 13

دعو

دعوى énoncé 169, 17, 19 ; (A) 539, 7

ادّعى formuler 169, 19 ; prétendre 173, 12

دفع

دفعة coup 165, 12, 13, 18 ; 169, 18

لا دافع irréfutable (S) 671, 12

دق (دقة) s'affiner (Q) 623, 28

دلّ indiquer (Q) 597, 21, 22

دماغ cerveau (Q) 581, 22

دنا s'approcher 223, 1, 2, 15 ; 241, 5, 7 ; 261, 17 ; 263, 5 ; 319, 12 ; 321, 1, 3, 4, 6 ; (S) 681, 12

دهن graisse (Q) 589, 1

دار (دور) tourner 221, 13, 14 ; 375, 8 ; (S) 679, 4 ; 679, 22

دائرة cercle 167, 9, 17 ; 173, 3 ; 185, 8, 15 ; 187, 13 ; 191, 12 ; 215, 12, 14, 15 ; ... ; 363, 22 ; 365, 8, 13, 14 ; 367, 5, 6, 11 ; 375, 4, 9, 13, 16 ; ... ; 431, 1, 2, 5, 6, 7, 9, 13 ; 433, 4, 12 ; (Q) 597, 3, 10 ; 619, 21 ; 625, 19 ;

627, 3, 4 ; (S) 651, 10, 12, 13 ; 653, 8, 10-13 ; 655, 1, 3, 5, 9, 15 ; ...

أدار tracer 275, 20 ; 311, 5 ; faire tourner 221, 13 ; 373, 9 ; (Q) 595, 24 ; 597, 5, 12 ; (S) 659, 11

مستدير arrondi 189, 10, 13 ; 191, 6, 14 ; 225, 3, 6, 14 ; circulaire 273, 12, 13, 17, 21 ; 275, 3, 8, 10, 11 ; 375, 4, 13

سطح مستدير (انظر سطح) surface circulaire

دولة État (Q) 573, 12

دام rester (S) 665, 1

دائمًا toujours (Q) 585, 7, 9 ; 623, 23, 24, 27, 28

إن إخراجًا إخراجًا دائمًا si on les prolonge indéfiniment 219, 10

أدام perpétuer 361, 5

دين religion (Q) 573, 7, 8

ذرع

أذرع coudées (Q) 639, 6

ذرو

ذروة sommet 243, 18, 19, 23 ; 247, 7, 12

ذكر (ذكرٌ) mentionner, exposer 171, 13 ; 189, 11 ; 231, 15, 17 ; 255, 1, 10 ; 309, 6, 17 ; 363, 12, 13 ; 375, 8 ; 401, 19-21 ; (Q) 581, 14 ; 589, 9, 14 ; 595, 11 ; 619, 12 ; 631, 16, 24 ; 635, 1 ; 639, 2, 5, 25 ; (S) 651, 4 ; 675, 1 ; 677, 16

ذكي

ذكاء intelligence (Q) 573, 11

في تذكية pour rendre pénétrant 361, 9

ذهب or (Q) 589, 3 ; 595, 8

ذاهب partant 321, 18

مذهب doctrine (S) 651, 3

ذهن esprit (Q) 573, 11

ذو

ذاته lui-même 379, 6 ; 381, 2, 12 ; 419, 14 ; (Q) 619, 17 ; 623, 1, 3, 9, 28 ; 625, 15, 23 ; 627, 7, 13 ; ... ; (S) 697, 9

رأس ج رؤوس sommet 239, 13 ; (Q) 593, 14

رأى trouver 163, 7, 8 ; voir 163, 19, 20 ; 165, 19, 26 ; 169, 18, 20 ; 171, 3, 10 ; 173, 12, 20 ; ... ; 373, 10 ; 425, 1 ; 427, 5 ; (A) 539, 5, 11 ; (Q) 575, 1, 2, 6, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 18-21, 27 ; ... ; (S) 651, 4, 9 ; 659, 6 ; 673, 7 ; percevoir (S) 689, 11, 12, 18 ; 695, 6 ; 697, 6, 7, 8, 12 ; ... ; apparaître (S) 685, 1 ; 687, 8, 9

رأي idées (Q) 573, 8

رؤية visibilité 165, 14, 23 ; 169, 21 ; 171, 3 ; (Q) 575, 9; tout en voyant 203, 7, 13, 14 ; 205, 1, 6, 7 ; 205, 11, 13, 19 ; ...

أرى faire voir (Q) 575, 4, 20 ; (S) 689, 16, 17 ; 693, 22 ; 697, 18, 25

مرآة ج مرايا miroir 211, 13 ; 213, 1 ; 363, 5, 8, 10 ; 373, 5, 8-12 ; 375, 4, 7, 17 ; ... ; 431, 1-4, 7 ; 433, 1 ; (Q) 573, 1, 19 ; 575, 1, 4, 6, 9, 11, 26 ; 577, 17, 19, 23, 25-27 ; ... ; (S) 651, 6 ; 653, 4, 9, 11, 12, 14 ; 655, 3 ; 659, 10, 11 ; 661, 4 ; ...

- محرقة miroir ardent 373, 5 ; 403, 13 ; (S) 651, 1, 5 ; 653, 8 ; 663, 9-10, 16 ; 665, 1 ; 667, 4, 6-7 ; 681, 2 ; 683, 12 ; ...

- ذات وجهين miroir à deux faxes (Q) 573, 20

- مسدّسة miroir hexagonal 403, 3

- مسطحة miroir plan (Q) 577, 26 ; 579, 13 ; 603, 19 ; 609, 5, 9, 25 ; 613, 2

- مستوية miroir plan (Q) 609, 10 ; 611, 7, 12, 16 ; 613, 7, 9-10, 17, 19 ; ...

- مستوية وترية miroir plan de la corde (S) 689, 12

- مستوية السطح miroir à surface plane (Q) 579, 15-16 ; 595, 14-15, 19, 22 ; 605, 9 ; 607, 9 ; 609, 1, 7 ; 611, 18 ; ...

- مستوية الوجه miroir à face plane (Q) 579, 1 ; 597, 14, 16, 24 ; 609, 3

- معتدلة miroir plan (S) 689, 20-21 ; 693, 5

- مقببة miroir convexe (Q) 577, 25 ; 579, 3, 13, 17, 21, 27 ; 595, 15, 20 ; 599, 1, 8 ; ... ; (S) 689, 17

- مقعرة miroir concave (Q) 577, 27 ; 579, 5, 13, 19, 24 ; 595, 15, 20 ; 597, 8, 9 ; 599, 10 ; ...

- مقعرة تقعيرًا كريًا (كرية التقعير) miroir sphérique concave 377, 11 , 14 ; 379, 4, 7 ; 385, 5 ; 387, 10 ; 389, 11 ; 391, 7-8 ; 397, 11

- مقوسة (قوسية) miroir arqué (S) 687, 20 ; 689, 9, 12 ; 693, 8-9, 17, 19

- كرية miroir sphérique 689, 21, 22 ; 693, 19

ربا s'agrandir 321, 1, 3, 11

ربع

ربع ج أرباع quart 389, 11 ; 391, 2, 3 ; (S) 653, 8 ; 663, 10 ; 665, 5, 9 ; 667, 1

رابع quatrième (Q) 577, 9 ; 583, 9

أربعة quatre 371, 12 ; 409, 5 ; (Q) 575, 8, 14 ; 601, 14 ; 603, 13 ; 633, 11, 16 ; 639, 21 ; 643, 21

أربع وعشرون vingt-quatre (Q) 575, 4

مربع quadrilatère 227, 10 ; 229, 15 ; 289, 13 ; 291, 3, 4, 16 ; 293, 7, 8 ;

299, 14 ; carré 333, 8, 10 ; 335, 7
carré plan 333, 7, 10 مربع معتدل

ordonner 363, 8 رتب
ordre 327, 8 ; (Q) 539, 11 ترتيب
rang 199, 2 مرتبة

passer 381, 12 ; revenir (Q) 587, 10 ; (S) 697, 10 ; رجع
retourner (S) 677, 4, 6, 7, 17, 19 ; 679, 1, 7, 22
retour (S) 679, 23 رجوع

hommes (S) 681, 10 رجال

étendu 163, 13 رحب

renvoyer (Q) 589, 16 ; (S) 675, 1, 2 ; 681, 8 ردّ
obstacle (S) 681, 8 رادّ

écrire 163, 6, 8 ; décrire 235, 16 ; tracer 221, 17, 19 ; 287, 14 ; رسم
289, 2 ; 307, 11 ; 375, 8 ; 377, 16 ; 389, 17 ; (Q) 629, 11 ; 635, 5 ;
(S) 659, 13 ; 671, 15 ; 673, 7 ; 679, 4, 5, 23 ; 701, 6 ; marquer (Q) 575, 27
dessin (Q) 639, 26 ; tracé (S) 679, 9 رسمٌ
défini مرسوم

gris (Q) 575, 17 ; 581, 5 ; 627, 10, 23 رصاصي

agréer (Q) 577, 2 رضي

humidité (Q) 589, 2, 9, 10 رطوبة ج ات
humidités vaporeuses (Q) 615, 19-20 - بخارية
humidité pure (Q) 589, 2, 10 - صافية

élever 361, 10 ; enlever 307, 18 ; 387, 4 ; 407, 6 رفع
plus élevé 191, 16, 17 ; 193, 4-6, 16 ; 195, 1-3 ; 201, 1, 3 ; ... أرفع
s'élever 205, 14, 21, 23 ; 207, 2, 3 ; (Q) 587, 8 ارتفع
hauteur 209, 9, 12 ; 211, 4, 9 ; (Q) 575, 4 ; 587, 28 ارتفاع

composer 187, 21 ; se superposer 263, 6 ; monter (Q) 595, 23 ركب
qui se superpose 217, 16, 18 ; superposé 427, 6 راكب
par composition على التركيب، في التركيب
composé 413, 3 ; (Q) 627, 22 مركب

مراكب vaisseaux 363, 2 ; (S) 681, 2 ; 683, 11

تركب composer (Q) 585, 19 ; 597, 9 ; s'ensuivre (Q) 603, 2

ركز

راكز fixé 283, 11, 13, 20 ; 373, 9

مركز centre 165, 14, 15, 22 ; 167, 4, 5, 16 ; 187, 12 ; 191, 12 ; 205, 3 ; 207, 1 ; ... ; 363, 18, 22 ; 365, 8, 13 ; 367, 9, 11 ; 373, 9, 10 ; 375, 4 ; 377, 9 ; ... ; 431, 2, 3, 6, 9 ; (Q) 597, 5, 12 ; 619, 23 ; 623, 11 ; 625, 14, 20 ; 627, 3, 13 ; 629, 3, 12, 14 ; ... ; centre (S) 651, 7, 12, 16 ; 653, 2, 5, 6, 10, 12 ; 655, 1, 6 ; ...

روح

روح نفسانية esprit psychique (Q) 581, 21

راحة repos (Q) 573, 9

أراد vouloir 209, 9 ; 211, 8 ; 213, 5 ; 215, 1 ; 307, 9 ; 311, 1 ; 313, 9, 13, 16; ... ; 365, 9, 12 ; 367, 1 ; 385, 5, 9 ; 387, 10 ; 397, 9 ; 399, 13 ; 401, 17, 23 ; 409, 14, 15 ; (Q) 629, 16 ; (S) 675, 8 ; 685, 1 ; avoir des desseins 363, 4

كما نريد à volonté (S) 675, 12

إرادة vœux 163, 8 ; volonté 163, 10

روض

رياضي mathématicien 173, 5, 21

رياضيات mathématiques 173, 23, 25

أقاويل رياضية livres mathématiques 213, 1-2

زئبق mercure (Q) 589, 1

زعم prétendre 173, 2

زوج pair 409, 15

زاد excéder 217, 11 ; augmenter 263, 2 ; 293, 15 ; 295, 2 ; 297, 7 ; (Q) 625, 3, 4 ; ajouter 409, 8 ; (S) 671, 4, 5 ; croître (Q) 579, 22 ; 615, 15, 17

زاد ... على استقامة prolonger 369, 1 ; 415, 5

زائد augmenté (Q) 601, 4, 5 ; 633, 14 ; qui excède (Q) 579, 16 ; 601, 10, 11 ; 603, 22 ; 605, 10 ; ...

لا زائداً (زائدة) sans augmentation 279, 12 ; 281, 5 ; (Q) 573, 20 ; sans dépasser (Q) 575, 5

لا أزيد pas diminué 283, 4

زيادة excédent 171, 7 ; 259, 3 ; augmentation 283, 15, 24 ; 285, 14 ; 395, 1 ; 397, 4 ; prolongement 415, 5

مزيد auquel on ajoute 377, 10
ازداد احتداداً devenir de plus en plus aigu 263, 5
– عظماً augmenter en grandeur 321, 7, 10
– انفراجاً devenir encore plus obtus 261, 17
– في التقرب s'approcher encore plus 319, 17
تزيّد (تزيُّد) croître (Q) 619, 9 ; 623, 4, 7, 27 ; 625, 3
تزيّد (الصغر) diminuer (Q) 579, 22-23 ; 615, 15
تزيد (العظم) croître (Q) 579, 25
متزيد croissant, de plus en plus (Q) 575, 10, 21 ; 579, 22, 25 ; 633, 2

زال s'écarter 167, 5 ; (Q) 587, 4 ; disparaître (Q) 587, 10 ; déplacer (Q) 587, 18
لا يزال continuer 175, 2, 3 ; (Q) 575, 20 ; 579, 22 ; 581, 12 ; 585, 9 ; 615, 15 ; 619, 3 ; 623, 7, 10
لا يزال كذلك et ainsi continuellement 197, 14
أزال ôter (Q) 581, 26
زولان écartement (Q) 587, 2

زوي
زاوية ج زوايا angle 163, 19-21 ; 169, 22 ; 171, 1, 5 ; 171, 13 ; 173, 19, 26, 27 ; ... ; 361, 8 ; 363, 16, 19, 20-22, 24, 25 ; 365, 1-3, 5, 6, 9, 16, 17 ; ... ; 425, 3, 4, 9-11, 16, 17 ; 427, 5 ; 431, 8 ; 433, 2, 4-8 ; (Q) 577, 22 ; 583, 18, 19, 22-24 ; 585, 1, 3, 4, 7 ; ... ; (S) 651, 7, 16, 19 ; 653, 1 ; 657, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 14, 16, 17 ; ...
– البصر angle de vision (Q) 637, 18-19
– سطحية angle plan 245, 13-14
– الشعاع angle du rayon (Q) 607, 16 ; 609, 6 ; 623, 8, 18 ; 625, 5, 8
– الانعكاس angle de réflexion (Q) 623, 23, 25, 27 ; 625, 2, 3, 6-7 ; 633, 3, 4
– قائمة angle droit 169, 22 ; 171, 1-2 ; 179, 13 ; 181, 23, 24 ; 183, 4, 5 ; 197, 12 ; 209, 2, 3 ; ... ; 377, 2 ; 383, 5, 8-9 ; 397, 1 ; 399, 9 ; 407, 5 ; 409, 5 ; 411, 9, 10 ; 413, 7 ; 431, 8 ; 433, 2 ; (S) 655, 4, 15, 16 ; 675, 9 ; 701, 12, 14

زيت huile (Q) 589, 1, 8

سَئَرَ
سائَر tous (Q) 577, 17, 19 ; 583, 6, 8 ; 589, 10, 12 ; 591, 3, 5, 7 ; ...

سأل demander 163, 6 ; implorer (Q) 577, 2

سبب ج أسباب cause 163, 5 ; raison (Q) 631, 24

سبق
سابقًا en avance 315, 3, 4

أسبق plus avancé 325, 10, 11

سبيل voie 173, 21 ; (Q) 623, 23

ستة six 403, 13 ; 405, 3, 5, 13

سد

سديداً justement 409, 12

تسديد bonne voie (Q) 577, 3

سُدْس sixième 389, 6-8 ; 399, 5-7 ; 431, 13, 14 ; 433, 4, 12 ; (S) 655, 9, 10 ; 657, 1, 10, 11

مُسدَّس hexagonal 403, 1, 3

مرآة مسدّسة miroir hexagonal 403, 3

سرع

سرعة rapidité, vitesse 165, 2 ; 321, 12, 15 ; 323, 4 ; (Q) 599, 14, 17 ; 627, 17

سريعٍ rapide (Q) 599, 19

سريعًا rapidement (Q) 631, 23

أسرع plus rapide 317, 4, 5, 17 ; 319, 3, 5, 11, 15 ; 321, 14, 17 ; 323, 11 ; 327, 3, 5 ; (A) 539, 5

سطح

سطح ج سطوح surface, plan 167, 3, 5, 6 ; 169, 1, 2, 13, 14 ; 173, 3 ; 181, 15, 21 ; 187, 7, 10 ; ... ; 363, 10, 16, 19 ; 367, 15 ; 369, 21, 22 ; 373, 11 ; 375, 7 ; 377, 11 ; 379, 4 ; 403, 1, 2 ; ... ; 425, 4, 7, 12 ; 427, 7 ; (Q) 577, 26 ; 587, 20, 27 ; 593, 13 ; 597, 6 ; 603, 14 ; 607, 3 ; (S) 661, 2 ; 663, 8, 11, 12, 22 ; 669, 13 ; 685, 3, 5, 6 ; 689, 14-19, 21 ; ... ; face 363, 24, 26 ; 365, 9, 10, 17 ; 367, 2 ; 369, 11, 15 ; 373, 2, 4, 8 parallélogramme 369, 24 ; 371, 4, 6, 7

– مستدير surface circulaire (S) 663, 11-12

– مستوٍ surface plane (Q) 595, 14-15, 26 ; 597, 26 ; 605, 15 ; (S) 681, 7 ; 687, 21 ; surface régulière (S) 671, 10, 16

– صقيل surface polie (Q) 587, 20-21

– معتدل surface plane (S) 687, 9, 11 ; 689, 19 ; 691, 11 ; 693, 18

– مقبب surface convexe (Q) 597, 2

– مقعر surface concave (Q) 597, 9, 12

– كري surface sphérique (S) 689, 21

– مرائي surface du miroir (S) 677, 2-3, 15, 19 ; 679, 8

مرآة مسطحة البسيط miroir à surface plane (Q) 605, 18-19

تسطيح مستوٍ surface plane (Q) 577, 26 ; 611, 25 ; 613, 2

مسطرة ج مساطر gabarit 373, 6, 9, 10, 11 ; 375, 1, 7, 9, 11 ; 419, 16 ; 431, 4, 6, 7, 9 ; (Q) 597, 7, 10, 11 ; 611, 2 ; 613, 4 ; 615, 25 ; 625, 18 ; (S) 653, 13 ; 655, 1, 3 ; 659, 10 ; 661, 4 ; 663, 10 ; 665, 3, 4, 5, 7 ; ... ; règle (Q) 595, 25

- مستوية الوجه gabarit à face plane (Q) 595, 24

الأسطقسات *Éléments* 231, 4

الأسطقسات الرياضية *Éléments mathématiques* 263, 11

سطن

أسطوانة ج أساطين cylindre 233, 14, 16 ; 235, 1, 3-8, 13, 14, 15, 22 ; 237, 11 ; 239, 6, 10 ; ... ; (S) 697, 21

أسطواني (انظر مخروط، تقبيب، تقعير) cylindrique

سعد

فكن به سعيداً qu'il puisse te satisfaire 163, 11

سعادة bonheur 361, 6

سفل

سفل bas 167, 2 ; (Q) 587, 3 ; 629, 8, 9 ; 631, 11, 12

أسفل au-dessous 195, 12 ; 201, 13 ; 383, 10, 15 ; plus bas 235, 9 ; (Q) 587, 4, 8 ; (S) 701, 12, 18

سلك se déplacer (œil) 293, 14 ; 295, 1

سالك celui qui suit 173, 21

مسلك voie 401, 22

سلّم admettre 173, 10

سلامة من dépourvu de (Q) 603, 16

سليم من dépourvu de (Q) 575, 4 ; 599, 4, 23 ; 603, 13, 21 ; 605, 15

سُكر ivresse (Q) 587, 17

سمت ج سموت trajet 175, 8, 11 ; 239, 2 ; direction 199, 6, 9 ; 201, 7, 14 ; 203, 5, 12 ; 205, 11, 18 ; 207, 8, 13 ; ... ; (A) 539, 10 ; (Q) 587, 3, 8 ; 619, 24 ; 631, 6 ; (S) 667, 7 ; 683, 5 ; trajectoire 379, 12

مسامت dans la direction (Q) 587, 13

سمج choquant 165, 10

سمك hauteur 281, 11, 13, 15 ; 329, 21 ; 331, 2

سمّى appeler (S) 679, 5, 24

سهل être facile 375, 1 ; faciliter (Q) 575, 1
سَهْل facile 363, 14
لسهولة pour faciliter
أسهل plus facile 375, 2, 17

سهم ج سهام flèche 263, 13, 15, 17, 18, 21

سواد noir (Q) 627, 16-18 ; 631, 23 ; 643, 17

سوس
سياسة art de gouverner (Q) 573, 11

سوف
مسافة distance 165, 5, 12 ; (Q) 599, 14-17 ; 611, 10, 11 ; 633, 7, 10 ; (S) 681, 4 ; dimension 173, 8 ; intervalle (Q) 609, 6
مسافة متساوية équidistance (Q) 603, 16

ساق ج سوق، أسوق côté 335, 2 ; 413, 4

سوي
سوّى devenir régulier (Q) 615, 25
ساوى être égal 371, 4 ; 377, 17 ; 407, 9
مساوٍ égal 171, 8, 10 ; 177, 2 ; 179, 5; 191, 10 ; ... ; 365, 15, 16 ; 369, 2, 8, 11, 12 ; 371, 1, 3, 4, 6, 9, 10, 12, 13 ; ... ; 425, 9 ; 433, 11 ; (A) 539, 6 ; (Q) 593, 19 ; 595, 1; 605, 23-25 ; 607, 5 ; 611, 7 ; 613, 14, 19 ; ... ; (S) 651, 11 ; 653, 1 ; 657, 10, 14, 16 ; 661, 10, 12, 19, 21, 22; ...
تساوى être égal 259, 4 ; 335, 7
تساوي égalité 335, 5
متساوٍ égal 163, 21 ; 169, 20, 24 ; 175, 7, 9 ; 177, 11 ; 183, 6 ; 185, 3 ; 187, 7, 9 ; ... ; 365, 5, 8, 10 ; 367, 4 ; 369, 24 ; 371, 1, 6, 9, 10, 12, 13 ; ... ; 425, 3, 4, 7 ; 433, 6, 9, 10 ; (A) 539, 3 ; (Q) 577, 22 ; 593, 7, 12 ; 595, 2, 3 ; 599, 6, 27 ; 605, 13 ; 607, 7, 8 ; ... ; (S) 651, 15, 17 ; 657, 2, 3, 7, 8, 13 ; 661, 12 ; 669, 2, 3, 12, 14, 15, 18 ; ...
مستوٍ égal 365, 11 ; régulier 375, 8 ; (Q) 575, 9, 11 ; 599, 4, 23, 26 ; 601, 10, 15, 16 ; 603, 7, 10, 13 ; droit (Q) 639, 8, 9, 12, 19
– الاستنارة luminosité égale (Q) 597, 26
– الوضع position droite (Q) 633, 21
خطوط مستوية lignes planes (S) 669, 13

مرآة مستوية السطح	miroir plan 403, 2
استواء	régularité (Q) 595, 12, 603, 20 ; rectitude (Q) 597, 16, 21, 23
مستوٍ استواءً صحيحًا	parfaitement plane (Q) 597, 14-15
صحيحُ الاستواء	parfaitement plane (Q) 579, 2
استواء مستقصى	régularité extrême (Q) 597, 18-19 ; 603, 20
سواء	également 287, 4
لا سيّما	surtout (Q) 573, 19
سيف	épée (Q) 603, 1
سيل	
أجرام سيالة	corps liquides (Q) 589, 1
شبهَ	
شبيه	semblable 403, 4, 11
ما أشبه	semblable (Q) 589, 3 ; 627, 20
مشابه	semblable 291, 4
متشابه	semblable 211, 6, 14, 17 ; 215, 9 ; 257, 10, 13 ; 303, 12 ; 305, 8; 335, 3, 5 ; 369, 9, 25 ; 377, 4 ; 397, 2, 12 ; 401, 7, 13 ; 405, 15 ; 411, 6
شت	
تشتت	(dispersé) (Q) 573, 12
شجرة	arbre 215, 3, 4
شخص	figure 175, 3
شدّ	
شدّة	intensité 165, 25
أشدّ	plus fort 171, 9 ; 373, 12 ; très fort (Q) 643, 20
شديد	fort 171, 10 ; très (Q) 575, 7
شرب	boire (Q) 587, 17
شرح	explication (S) 667, 4
شرط	condition 255, 5, 6
شريطة ج شرائط	condition 173, 24 ; 229, 2, 3 ; 225, 3, 20, 22 ; 285, 5 ; 327, 4
شرك	
مشترك	commun 235, 8 ; 237, 7 ; 251, 2 ; 257, 9, 12 ; 301, 8 ; 303, 17 ;

305, 3, 19 ; ... ; 365, 5 ; 369, 4 ; 377, 3 ; 383, 8 ; 389, 13 ; 391, 9 ; 401, 14 ; 409, 6 ; 415, 17 ; (S) 669, 10 ; 671, 2 ; 679, 12, 16

خط مشترك droite d'intersection 243, 19-20 ; 245, 14

سطح مشترك plan intersection 245, 15

علامة مشتركة point d'intersection 397, 7

اشترك (اشتراك) être commun 335, 7 ; participer (Q) 573, 16

شطّ rive 215, 1-5

شعاع ج ات rayon 163, 15, 18, 20, 21 ; 165, 16, 24, 26 ; 167, 3, 5, 6, 11, 12, 16 ; ... ; 363, 8, 9, 17, 18, 22, 23, 25, 26 ; 365, 1, 2, 9, 12, 17 ; ... ; 425, 2, 4, 8, 10, 11, 15-17 ; 427, 1, 2, 4 ; 431, 3, 5, 11, 14, 15 ; 433, 1, 6, 8 ; (Q) 577, 7, 8, 21, 22 ; 581, 17, 18, 24 ; 583, 1-6, 8-11, 13, 14, 16, 22, 26, 28 ; ... ; (S) 651, 6, 13, 14, 17 ; 653, 1, 3, 4, 7, 11, 14 ; 655, 7, 10-12, 14 ; ...

- البصر rayon visuel 213, 13 ; 245, 5 ; 329, 11 ; (Q) 581, 20
- بصري rayon visuel (Q) 581, 18, 19, 21, 25, 27 ; 583, 2, 5, 10, 13, 14, 16 ; 585, 14 ; 589, 15-16, 18 ; ... ; (S) 671, 9
- باصر rayon visuel (Q) 637, 13
- مبصر rayon visuel 235, 23
- سطحي faisceau plan de rayons 369, 20-22
- استوائي rayon équinoxial (S) 677, 7, 16
- الشمس rayon du soleil 209, 12 ; (Q) 597, 24 ; (S) 663, 20 ; 673, 1, 3 ; 675, 2, 8
- شمسي rayon solaire 361, 7 ; 363, 2 ; (Q) 583, 2, 3, 9, 11 ; (S) 659, 12 ; 671, 9
- صيفي rayon solsticial d'été (S) 677, 18
- النظر rayon visuel 243, 20
- ناري rayon du feu (Q) 583, 2, 4, 11
- نوري rayon lumineux (S) 671, 9

علم الشعاعات science des rayons (Q) 573, 18

علم مخارج الشعاعات الشمسية science de l'émission des rayons solaires 361, 7

شعاعي (انظر جرم، مخروط، ضياء، شكل) radiant

شف

مستشفّ transparent 425, 3 ; (S) 673, 9

شفة lèvre (Q) 601, 6

شق

مشقوق creusé (S) 697, 21

شكّ doute (S) 671, 12

شكل

شكل ج أشكال figure 163, 14 ; 191, 1, 14 ; 195, 8, 11 ; 201, 11 ; 371, 12 ; 395, 5 ; 399, 16 ; 405, 15 ; 409, 13, 16 ; 425, 1 ; (Q) 577, 8 ; 583, 13, 14 ; 589, 5 ; 595, 5, 11, 14, 18, 26 ; ... ; (S) 669, 17 ; forme (S) 697, 21 ; proposition 165, 1 ; 171, 15 ; 173, 3 ; 223, 12 ; 225, 4 ; 229, 4 ; 231, 15 ; 235, 16, 17 ; 239, 1, 8 ; ... ; 367, 11, 14 ; 371, 8 ; 413, 9 ; (A) 539, 3, 8, 13 ; (Q) 603, 17 ; 639, 26 ; (S) 675, 5

- خطوطي figure géométrique (Q) 619, 18 ; 625, 10 ; 629, 11

- ذو الزوايا figure polygonale 189, 10 ; 191, 1

- صنوبري شعاعي figure conique radiante (S) 699, 5

- قائم figure verticale (Q) 631, 9-10

- متوازي الأضلاع parallélogramme 371, 14

مشكلات erreurs 163, 3, 7

مشاكل de la même figure (Q) 601, 25

شمس soleil 209, 10-12 ; 211, 9 ; 363, 2, 17, 18, 25, 26 ; 367, 9 ; 379, 10, 11 ; 381, 8, 10, 11 ; 387, 2 ; 389, 2, 16 ; ... ; 431, 11, 15, 16 ; 433, 1 ; (Q) 583, 3 ; 589, 9, 10 ; 597, 25 ; 599, 5 ; (S) 651, 13 ; 653, 7 ; 655, 7, 11, 12, 14 ; 661, 3, 4, 15, 17 ; ...

شعاع الشمس (انظر شعاع) rayon du soleil

شمسي (انظر شعاع) solaire

شمل (شمول) couvrir (Q) 639, 21

شمال gauche 167, 2, 5 ; (S) 697, 26

شامل entier (Q) 573, 9 ; global 587, 22

اشتمل comprendre (Q) 633, 12

مشتمل couvrant (Q) 639, 17

شنع

أشنع plus choquant 173, 10

شهد

استشهد (استشهاد) invoquer 173, 18

شاب altérer (Q) 589, 2

مشوبة déformation (Q) 599, 23 ; 603, 14

شوه

تشويه déformation (Q) 599, 4 ; 603, 2

مشوه déformé (Q) 579, 7, 9, 11 ; 601, 1, 3, 12, 16, 18, 20-22 ; ...

شاء vouloir 211, 3, 11 ; 255, 2 ; 363, 10 ; 373, 5 ; 375, 1 ; (S) 655, 13

أي ... شئنا quelconque 301, 13

كيف (كم) شئنا à volonté 215, 7 ; 365, 11 ; 403, 5 ; (Q) 627, 1 ; autant que l'on veut 409, 10 ; (Q) 619, 24

شيء ج أشياء chose 163, 2 ; 165, 1, 2, 8, 9, 11, 12, 20, 21 ; 196, 6 ; ... ; 361, 10 ; 363, 4, 7 ; (Q) 573, 6, 14, 15 ; 577, 9, 13, 16 ; 581, 20 ; 583, 20 ; 585, 11, 22 ; ... ; (S) 689, 15, 18 ; 693, 23 ; 695, 6 ; 697, 7, 8 ; 701, 2, 10

إصبع ج أصابع doigt (Q) 575, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ; 639, 7, 11, 13

صحّ établir 171, 14 ; 173, 16 ; devenir vrai (Q) 575, 22

صحة exactitude (Q) 597, 16 ; 599, 3 ; correction (Q) 599, 8

صحيح correct (Q) 575, 9 ; 599, 18 ; 601, 10 ; parfaitement (Q) 579, 2 ; 599, 1, 11, 12, 23 ; 617, 1

غير صحيح imparfait (Q) 599, 19

صحب

أصحاب compagnons (Q) 573, 10

صدر introduction 415, 4 ; (Q) 639, 5

صدق

أصدق plus correct 165, 14 ; 169, 21 ; 171, 3, 10

صرف

منصرف qui s'éloigne 315, 4

صغرَ diminuer 175, 2, 3 ; (Q) 633, 28 ; 635, 3 ; 637, 19 ; 643, 26 ; être petit (Q) 633, 7

متزيد في الصغر de plus en plus petit (Q) 639, 14, 18, 23-24 ; 643, 25 ; 645, 5, 10

ازداد صغرًا (انظر أيضًا زاد) décroître (Q) 619, 4 ; 623, 22, 24, 25, 27 ; (Q) 633, 22-23

صغر petitesse 173, 19 ; diminution 175, 4 ; 287, 2, 3, 8, 9 ; 297, 20 ; 301, 4

أصغر plus petit 167, 16 ; 173, 27 ; 175, 1, 2 ; 177, 6, 8-10 ; 179, 3 ; 181, 2, 3, 5, 6, 7 ; ... ; 381, 5, 7, 8 ; 383, 14 ; 399, 9 ; 403, 4, 11 ; (S) 669, 6 ; 685, 15 ; 689, 10, 18 ; 693, 16, 17, 20 ; 697, 4, 14, 16 ; ...

صغير petit 163, 20 ; 165, 21 ; (S) 701, 17, 18 ; faible 361, 7

صفح

صفيحة plaque (S) 679, 6

صقيل poli (Q) 577, 15, 18, 20, 21 ; 587, 21, 25, 27 ; 589, 6, 7, 13, 15, 18 ; ... ; (S) 663, 25 ; 667, 15 ; 671, 10, 16 ; 673, 9 ; 701, 17

احتمل الصقال	être poli (Q) 589, 2-3
صفر	cuivre jaune (Q) 589, 3
صفاء	pureté (Q) 599, 7
صافٍ	pur (Q) 589, 2, 8, 10
صلح	
صلاح	piété (Q) 573, 9
إصلاح	réforme (A) 539, 2 ; (Q) 573, 11
صنع	
صنعة	fabrication (Q) 595, 19, 20
صناعة	art 163, 6, 10 ; 363, 7 ; 401, 20 ; (Q) 573, 18
صناعة هندسية	géométrie (S) 667, 5
من أهل الصناعة الهندسية	géomètre (S) 667, 3
صناعي	artificiel (Q) 587, 7, 11
صنف	composer (Q) 575, 27
صنف ج أصناف	sorte (Q) 577, 7, 23 ; 581, 14 ; 583, 1, 2 ; 595, 4 ; 639, 2 ; façon 587, 3
صنوبرة (انظر مخروط)	cône 165, 13, 14, 23, 24 ; 167, 6 ; 169, 13, 14
– شعاعية	cône visuel 167, 6
شكل صنوبري	figure d'un cône 173, 3
ضياء صنوبري	luminosité conique 163, 12-13
صواب	justesse (Q) 573, 8
صورة ج صور	forme (Q) 573, 20 ; 575, 1, 2, 6, 11, 15, 26 ; 577, 8, 16 , ...
صار	devenir, venir 163, 17 ; (Q) 581, 28 ; 583, 27 ; 587, 1, 21 ; 589, 23 ; parvenir (Q) 587, 17 ; 605, 23 ; 619, 17, 21 ; 621, 15 ; ... ; (S) 675, 6 ; 697, 15 ; 701, 11
صيّر	faire 163, 5 ; 313, 16 ; 367, 1, 3, 6 ; 369, 2 ; 373, 9 ; (S) 659, 9 ; 675, 9 ; 695, 10, 11 ; égaliser 405, 1 ; 411, 7 ; donner 169, 16
صاك	se projetter (S) 663, 15, 22, 23 ; 681, 17
ضدّ ج أضداد	opposé (Q) 629, 4, 17 ; 631, 7, 8, 13 ; 635, 2 ; 637, 21 ; 645, 1 ; (S) 693, 23 ; 697, 7

مضادّ opposé (Q) 631, 17

ضَرْب produit 191, 8

ضرّ
وجب ضرورة devoir nécessairement (Q) 607, 18
مضطر qui est tenu 363, 4
باضطرار nécessairement 173, 22 ; 273, 20 ; 363, 3 ; 379, 9

ضعف double 183, 7, 8 ; 243, 3 ; 313, 15 ; 335, 8 ; 391, 22 ; 393, 3, 4 ; 401, 5 ; faiblesse (Q) 595, 10
ضعيف faible (Q) 599, 7, 8, 27 ; (S) 667, 15
أضعف plus faible (S) 667, 12
تضعيف produit 377, 5, 6, 8 ; doublement (Q) 643, 23
مضعف double (Q) 633, 11 ; 643, 21, 22

ضلع ج أضلاع côté 189, 13 ; 191, 2, 4 ; 259, 25 ; 303, 12 ; 333, 8 ; 367, 8, 13, 14 ; 369, 25 ; 371, 1, 2, 3, 11-14 ; ... ; (Q) 583, 18 ; 613, 8 ; (S) 651, 6-8 ; 663, 13
– مستقيمة côté droit (S) 653, 4
متوازي الأضلاع parallélogramme 287, 24-25 ; 289, 13 ; 291, 4, 16 ; 293, 7-9 ; 299, 15

ضوء
أضواء النيران lumières des feux (IV) 799, 18-19
ضياء luminosité 163, 14 ; 165, 25 ; (Q) 583, 12
– شعاعي luminosité radiante 163, 16
– صنوبري luminosité conique 163, 12-13
– نهاري lumière du jour (Q) 583, 4
أضاء illuminer (Q) 583, 5

ضاق rétrécir 283, 13 ; 285, 4 ; être resserré, étroit (Q) 619, 4 ; 623, 7, 22 ; 633, 3, 4
ضيق étroitesse 263, 2 ; resserrement (Q) 585, 7, 8 ; 643, 18
أضيق plus resserré, étroit (Q) 585, 7 ; 607, 17 ; 621, 11, 12 ; 623, 6

طبع nature 253, 15, 16
طبائع nature (Q) 573, 15
طبيعي naturel (Q) 587, 2 ; 601, 17
العلم الطبيعي science physique (Q) 573, 16

طبق
طابق se superposer (Q) 595, 26 ; 603, 15
مطابق superposition (Q) 595, 27

طَرْف ج أطراف extrémité 199, 12 ; 201, 7-9, 13 ; 213, 7, 9 ; 229, 14 ; 231, 22 ; 243, 17 ; ... ; 365, 12, 14, 16 ; 375, 6, 8, 10, 12 ; 391, 8 ; 407, 16, 18, 19 ; ... ; (S) 659, 7, 8 ; 663, 25

طلب chercher 165, 18, 21
مطلوب ce qu'on cherche 165, 25 ; 211, 4

طلق
مطلق général 255, 8

طاقة capacité 363, 12

طال
طول longueur 165, 5, 7, 11 ; 173, 6, 11 ; 179, 8 ; 181, 16 ; 233, 16 ; 367, 7 ; 369, 11 ; 373, 8 ; (Q) 601, 4 ; 633, 14 ; (S) 697, 22, 24
طوّل être très long (A) 539, 7
طويل ج طوال long, allongé (Q) 601, 6, 27 ; 603, 1
أطول plus long 175, 8 ; 199, 6, 10, 11 ; 201, 1, 3, 4, 9, 15, 16 ; ...
أطال الله بقاء que Dieu donne longue vie 361, 5
مستطيل allongé (Q) 601, 26, 27

ظلّ ombre 211, 1, 3-5
ظلال الليل obscurité de la nuit (Q) 583, 5

ظنّ croire, penser 165, 2, 17 ; 223, 3, 8 ; 225, 20 ; 235, 14 ; 239, 7-9, 11

ظهر paraître 163, 21 ; apparaître 175, 1 (Q) 615, 21, 22 ; montrer 309, 19 ; être manifeste (Q) 645, 12 ; (S) 671, 9
ظهر ظهوراً بيناً apparaître clairement (Q) 619, 18-19
ظهر dos (S) 669, 17 ; 693, 8, 17 ; 699, 16
ظاهر extérieur 221, 13 ; (S) 669, 3
ظاهر évident, clair (A) 539, 7, 13 ; (Q) 605, 26 ; 611, 3 ; 627, 2 ; 631, 1 ; 635, 10
ظاهر الفساد والخطأ manifestement erronée et incorrecte 165, 4

عجل charrette 273, 12

عد	mesurer 367, 3
عدد ج أعداد	nombre 171, 16, 17 ; 335, 16 ; 365, 11 ; 409, 15 ; (Q) 595, 14 ; 601, 13, 19 ; 639, 8 ; chiffre (Q) 577, 1
عدّة	nombre 365, 11 ; 367, 3, 4 ; 409, 14 ; nombreux (S) 681, 7
عدل	
عادل	placer comme (Q) 589, 5
معادل	égal 237, 5 ; 259, 23, 24
معتدلة (زاوية)	angle droit 235, 1
معتدل (سطح)	perpendiculaire 235, 5 ; élevé 243, 9 ; 245, 2 ; plan 281, 11, 12, 16-17 ; régulier (Q) 595, 27 ; normal (Q) 601, 5, 11
اعتدال	normale (Q) 603, 10
عدو	ennemi 361, 6 ; (S) 681, 2
عرج	
منعرج	dévié 387, 7
عرض	se produire, se présenter 165, 21, 22 ; 233, 14 ; 255, 5 ; 263, 2 ; 275, 8 ; 291, 13 ; 293, 5 ; (Q) 573, 1 ; 587, 3, 16 ; 603, 1 ; 631, 9 ; 633, 8, 17 ; 643, 21 ; (S) 689, 14 ; 701, 19
عرض	largeur 165, 5, 7, 8, 11 ; 173, 6, 11 ; 193, 2, 4-6 ; 195, 5 ; ... ; (Q) 585, 8 ; 601, 5, 8 ; 623, 17, 22
عرضي	accidentel 255, 2 ; (Q) 587, 2
عريض	large (Q) 601, 28 ; 603, 2
معترضًا	horizontalement (Q) 603, 2
عرف (معرفة)	connaître 209, 11 ; (Q) 629, 16
معرفة	connaissance (S) 667, 4
عزّ	prospérité 361, 5
عسل	miel (Q) 589, 1, 8
عشر	
الثماني عشرة	dix-huit 405, 1-2
الثامن والعشرون	vingt-huit 231, 15
الرابع والعشرون	vingt-quatre 231, 16
أربعة وعشرون	vingt-quatre 363, 8 ; 401, 21, 23 ; 409, 16, 17

عصبة nerf (Q) 581, 22

عضو ج أعضاء membre 163, 7 ; organe (Q) 581, 23 ; 601, 14

عطف
في انعطاف en se brisant (Q) 589, 16
منعطف se brisant (Q) 589, 16
شعاع منعطف rayon réfléchi (Q) 589, 17

أعطى donner 169, 19

عظمَ augmenter 321, 11
عظمٌ ج أعظام grandeur 169, 17 ; 171, 8, 10 ; 177, 14, 16 ; 185, 2 ; 187, 1, 3, 4 ; 193, 9 ; ... ; 425, 1, 8 ; 427, 2, 6
متزيد في العظم de plus en plus grand (Q) 639, 15, 19-20
عظيم grand 163, 19 ; 225, 4, 15 ; 171, 14 ; 387, 14 ; (S) 651, 5 ; obtus 255, 14
أعظم م عظمى plus grand, supérieur 171, 5 ; 175, 12 ; 177, 3-5, 7, 12, 18 ; 179, 2, 4 , ... ; 375, 16 ; 377, 7, 9, 10, 12, 15 ; 379, 8 ; 383, 11 ; 385, 3, 7 ; 387, 12 ; ... ; 425, 1, 16 ; 427, 5, 6 ; (S) 685, 4 ; 687, 9, 22 ; 689, 9, 11, 12, 16 ; 693, 15 ; 695, 12, 14 ; ...

عقل raison (Q) 573, 7

عكس réfléchir 365, 9, 12, 17 ; 367, 1, 2, 8, 14, 16 ; 369, 11 ; 381, 11 ; ... ; 431, 3 ; (Q) 597, 25 ; 607, 14 ; 623, 15 ; (S) 653, 11 ; 659, 12 ; 661, 1, 18 ; 675, 2
عكس réflexion (S) 675, 3
بالعكس inversement 297, 1
عاكس réfléchissant 361, 8, 9
انعكس se réfléchir 213, 1 ; 361, 9 ; 363, 8, 18, 23 ; 365, 2 ; 367, 13 ; 369, 2, 5, 6, 14, 19 ; ... ; 425, 3, 9, 10 ; 427, 1, 2 ; 431, 5, 11 ; 433, 6 ; (Q) 589, 21-23 ; 591, 8, 9, 14, 15 ; 593, 5, 6, 16, 17 ; ... ; (S) 651, 6 ; 653, 1, 3, 5, 7, 14 ; 655, 2, 7 ; 657, 3, 4, 12, 13, 15, 16, 20 ; ...
انعكاس réflexion (se réfléchir) 361, 7 ; 367, 10 ; 413, 8 ; (Q) 577, 21, 22 ; 593, 4, 11 ; 601, 24 ; 603, 4 ; 609, 3 ; 611, 6 ; 613, 10 ; 615, 23 ; ...
منعكس réfléchi 211, 14 ; 367, 15 ; 369, 15, 18, 19, 20, 22 ; 373, 4, 11, 12 ; 377, 1, 12 ; ... ; 425, 4 ; 433, 8 ; (Q) 573, 19 ; 591, 2 ; 593, 9, 20 ; 597, 26, 28 ; 599, 7 ; ... ; (S) 657, 6, 19, 20, 21 ; 661, 14, 20, 21 ; 663, 25 ; 665, 1 ; 681, 14, 18, 20

علّة cause, raison 165, 17 ; 171, 14 ; 173, 19 ; 189, 11 ; (Q) 573, 1, 15 ; 575, 22, 23, 26 ; 577, 9, 11, 13 ; 579, 9, 11, 15, 17, 19 ; (S) 651, 3, 4 ; 671, 3

– صناعية	cause artificielle (Q) 587, 6-7, 11
– طبيعية	cause naturelle (Q) 587, 2
– عرضية	cause accidentelle (Q) 587, 2
علق	
معلّق	suspendu 201, 7, 12
علم	connaître 173, 22 ; 209, 9 (Q) 575, 22 ; marquer 365, 13 ; 367, 6 ; savoir (Q) 579, 1, 3, 5 ; 597, 14 ; 599, 1, 3, 10, 12 ; (S) 667, 3
علْم	science 361, 7, 11 ; (Q) 575, 24 ; connaissance 401, 20, 22
عَلم الرياضيات	mathématiques 173, 13
علمي	scientifique (Q) 575, 22
علامة ج ات	point 167, 18 ; 169, 1-5, 7, 10, 11, 13 ; 175, 10, 13, 14 ; ... ; 365, 14, 15 ; 367, 6, 7 ; 369, 14, 18, 23, 24 ; 373, 7, 8 ; ... ; 425, 6, 9, 13-16 ; 427, 3, 4 ; 431, 9, 12, 15 ; 433, 3 ; (A) 539, 9 ; (Q) 605, 25 ; 611, 8 ; (S) 651, 11, 13 ; 653, 2, 3, 5, 6 ; 655, 5, 6, 8, 11, 16 ; ...
معلوم	connu, donné 211, 2, 6, 7, 11 ; 213, 3, 4, 18, 19 ; 215, 7, 10, 11 ; ... ; 365, 10, 17 ; 373, 7 ; 393, 12, 14-16 ; 395, 1, 2, 8-13 ; ... ; (S) 681, 10
المعلومات	les mathématiques 363, 15
التعاليم	les mathématiques 363, 7
تعلّم	marquer 183, 1 ; 187, 11 ; 193, 13 ; 297, 10 ; 313, 12 ; 325, 6 ; 369, 23 ; 377, 2 ; 379, 8, 14 ; 383, 5 ; 385, 13 ; 395, 6 ; 417, 6 ; (Q) 605, 25 ; (S) 687, 23 ; repérer 215, 2
علا	s'élever 205, 2, 3
ولم يعلو فوق ...	sans dépasser 205, 14
علو	hauteur 193, 17 ; 195, 3 ; 207, 7, 9, 13, 16, 17 ; 209, 2 ; 255, 11 ; haut (Q) 587, 3 ; 629, 7-9 ; 631, 11, 12
علوًا	en haut 167, 2
عالٍ	en relief (Q) 597, 13
أعلى	plus haut, plus élevé 181, 13, 19 ; 195, 5, 8 ; 199, 5 ; 201, 7 ; 203, 5, 8 ; 235, 9 ; ...; (S) 701, 18 ; sommet 205, 10
عمد	
عمود ج أعمدة	perpendiculaire 165, 13 ; 167, 15 ; 173, 11 ; 175, 8, 10 ; 177, 12, 16 ; 181, 14, 20, 21 ; ... ; 375, 5 ; 377, 1, 9, 10 ; 383, 8 ; 397, 6, 7 ; 399, 13, 17, 18 ; ... ; (A) 539, 4, 6, 7 ; (S) 685, 8, 14 ; 687, 12, 13, 24 ; 689, 3, 4 ; 691, 11 ; apothème 405, 15 ; axe 165, 23, 24 ; 221, 12
– النظر	perpendiculaire de la vision (S) 701, 13
عمق	profondeur 165, 7, 8 ; 173, 6 ; 213, 5-10 ; 375, 5 ; 411, 14

عملَ
circonscrire 267, 10 ; 269, 4 ; construire 363, 8 ; 365, 9, 12 ; 373, 5 ; 375, 2 ; 397, 9 ; 401, 17, 23 ; 409, 10, 11 ; (S) 653, 13 ; 663, 10 ; 665, 3, 7 ; 667, 1, 4 ; faire (Q) 575, 24

عمل
construction 375, 3 ; (Q) 609, 9 ; 613, 3 ; (S) 677, 18

معمول
construit (S) 665, 4

مستعمل
qui utilise 173, 24 ; utilisé (Q) 595, 17

عمى

معمي
qui obscurcit 361, 10

عنصر
élément (Q) 595, 5, 6-8

عني

يعني (أعني)
c'est-à-dire, je veux dire 163, 13, 16 ; 165, 5 ; 167, 12 ; 181, 14, 20 ; 195, 5, 13 ; 211, 1 ; ... ; 361, 11 ; 379, 5 ; 387, 12 ; 391, 8 ; 397, 10 ; 399, 11 ; 401, 15, 18 ; 411, 14 ; 419, 12 ; 431, 1, 3 ; (A) 539, 10, 11 ; (Q) 581, 27 ; 583, 11 ; 593, 11 ; 607, 7, 8 ; 613, 13, 19 ; ... ; (S) 653, 9, 12, 13 ; 655, 1 ; 659, 1 ; 661, 20 ; 663, 5, 7, 24 ; ...

عناية
combler de ses soins (Q) 573, 10

معنى ج معاني
traits (Q) 573, 13 ; notion (Q) 575, 22, 23 ; 577, 1 ; 581, 13 ; 599, 13 ; 639, 1, 27

ما معنى
que signifie (Q) 577, 21

به أستعين
c'est de Lui que j'ai l'assistance (Q) 577, 4

عوج

اعوجاج
courbure (Q) 583, 18

معوجًا تعويجًا شديدًا
très tordu (Q) 601, 6

عود

أعاد
reprendre 395, 5 ; 399, 16 ; (Q) 639, 26

أعاد (إعادة)
reprendre 195, 11 ; répéter 231, 17 ; retracer 291, 15 ; 293, 6

عاق
empêcher (Q) 581, 20

عين
œil 163, 12 ; 177, 12 ; (Q) 575, 12-14, 19-21 ; 581, 10, 11, 17, 23, 25, 26 ; ...

بعينه
même 195, 11 ; 217, 20 ; (Q) 607, 6, 7 ; 633, 9 ; (S) 677, 18 ; 679, 2

غطى
recouvrir (S) 679, 6

غلّط
se tromper 165, 17

غلظ
غليظ gros (Q) 633, 14

غمز غمزًا قويًا presser fortement (Q) 587, 7-8
غمز pression (Q) 587, 9, 10, 12

غني dispenser 255, 2
مغنٍ qui dispense 163, 9

غير apporter des modifications
غير متغير invariable 287, 2, 3, 9

غاص immerger 425, 1
غائص immergé 425, 1, 11

غوي
غاية limite 171, 12 ; but 173, 21 ; 363, 14

فرج ouvrir 403, 4
فرج ج فروج intervalle 171, 16 ; 173, 4, 11, 13, 16
انفرج (انفراج) devenir obtus 261, 16, 17
أكثر (أشدّ) انفراجًا plus ouverte (Q) 645, 4-5, 9
منفرجة (زاوية) obtus 261, 18 ; 263, 2 ; 285, 15

فرض supposer 167, 9, 11, 14 ; 175, 9, 10 ; 177, 14-16 ; 179, 10, 11 ; ... ; 369, 17, 21, 22 ; 375, 4 ; 377, 14 ; 379, 7, 9, 10 ; 387, 14 ; 389, 14 ; ... ; 425, 6 ; 431, 7, 9 ; 433, 3 ; (Q) 591, 11, 13 ; 611, 11 ; 615, 4 ; 619, 24 ; 635, 7 ; (S) 651, 9, 11, 12 ; 655, 3, 5 ; 659, 13, 14 ; 663, 16, 19 ; 667, 8, 10 ; ...
مفروض donné 363, 13 ; 385, 6

فرغ achever (S) 701, 16

فرقَ se disperser (Q) 599, 8
فرقٌ différence (Q) 579, 7
تفرق (تفرقة) se séparer (Q) 633, 15
تفرقة dispersion (Q) 633, 8
افترق se séparer (Q) 585, 20, 22
افتراق séparation (Q) 633, 12
متفرق dispersé 183, 12

فساد (corrompu) (Q) 573, 12 ; corruption 599, 18

فصح
فصاحة distinction (Q) 595, 9

فصلَ séparer 169, 21 ; 171, 1 ; 177, 1 ; 193, 1 ; 197, 2 ; 215, 13, 18 ; 223, 5, 14 ; 229, 13 ; ... ; 389, 2 ; 401, 11 ; 411, 1 ; 415, 16 ; 431, 10 ; (S) 655, 6 ; 661, 6 ; 663, 9 ; 679, 3 ; 685, 8 ; 699, 1, 3 ; couper 383, 5
فصل من الزمان saison (S) 675, 4
فصل مشترك intersection 267, 1 ; 309, 7-8, 11- 13
فاصل qui sépare 167, 14 ; 197, 8 ; 215, 16 ; 221, 3 ; 227, 14 ; 231, 21, 22; 235, 25 ; 263, 17, 20 ; 393, 11 ; 397, 11 ; 431, 1 ; (S) 653, 10 ; 699, 6

فضة argent, argenté (Q) 595, 8 ; 627, 23

فضل distinguer (Q) 573, 6, 7
فضل excédent 191, 4, 9 ; 395, 10

فاضل vertueux (Q) 573, 5, 8, 12, 19 ; 577, 2
فضائل bienfaits 361, 5
أفضل plus vertueux (Q) 573, 5 ; meilleur (Q) 573, 6, 13
مفضل (عند اللّه) élu de Dieu (Q) 573, 6

فعل faire 245, 16
بالفعل en acte 171, 17 ; 173, 1

فقد
تفقد أحوالهم s'enquérir de leur état (Q) 573, 10

فقط seulement (Q) 589, 4 ; 605, 6 ; 643, 26

فكر pensée 361, 10

فلسفي philosophique 173, 1, 2, 24
فيلسوف philosophe 173, 5

فم bord 213, 6, 11

فني disparaître

فهم comprendre 255, 3
فهم compréhension 363, 14

فاق
فَوْق au-dessus 383, 10, 11, 13, 14 ; (Q) 587, 4 ; (S) 701, 12, 13

قب
تقبيب convexité (Q) 597, 23
- مخروطي convexité conique (Q) 595, 16
- أسطواني convexité cylindrique (Q) 595, 16
- كري convexité sphérique (Q) 577, 25 ; 579, 3-4, 13, 21-22 ; 595, 16, 20 ; 597, 1, 2 ; 599, 1, 3 ; ...
تقبّب convexité (Q) 611, 1
مقبّب convexe 167, 2 ; (Q) 577, 25 ; 579, 5, 13, 17, 21, 27 ; 595, 15, 18 ; 597, 1, 2 ; ...

قبح
أقبح plus détestable 173, 10

قبل
قبل être capable 307, 16 ; 311, 11, 12, 16 ; 331, 14 ; accepter 363, 6 ; recevoir (S) 667, 13, 16 ; 673, 9 ; 679, 6
قَبْل avant 173, 22 ; précédent 249, 5 ; 267, 17 ; 269, 18 ; 283, 4 ; 367, 11, 14 ; 413, 9 ; (Q) 609, 14 ; 627, 12 ; 631, 16 ; auparavant 413, 14
من قبَل relatif à (Q) 585, 17 ; en raison de (Q) 595, 5, 6 ; 599, 15, 18 ; 633, 19
قابل faire face (Q) 577, 16 ; 587, 26 ; 589, 6 ; 599, 5 ; 603, 1
أقبل venir 323, 1
إقبال rapprochement 319, 9
مقبل qui s'approche 315, 2, 10, 11 ; 317, 21 ; 319, 7, 17 ; 321, 16
مقابل opposé 213, 8 ; 225, 25 ; 371, 13 ; en face 275, 14 ; 277, 3 ; 329, 18 ; qui fait face 379, 11 ; 397, 9 ; (Q) 623, 18
مقبول reçu (S) 667, 16
متقابل opposé 371, 1, 5 ; 399, 11 ; 413, 1
استقبل (استقبال) recevoir (S) 661, 3, 5

قدح
paracentèse (Q) 581, 27

قدر
قدر ج أقدار grandeur 165, 5 ; 173, 20 ; 175, 4, 9, 12, 14 ; 177, 7, 9-11, 14 ; 185, 6, 11, 12 ; ... ; (A) 539, 2 ; (Q) 623, 20 ; 637, 17, 20 ; (S) 665, 2, 5 ; 667, 1 ; 681, 8 ; 685, 2, 4 ; 687, 9 ; 689, 16, 18
على قدر à mesure que 165, 23 ; selon (Q) 575, 6-7
قدر ما autant que 163, 8 ; 363, 3
مقدار ج مقادير grandeur 169, 20, 23 ; 171, 3, 4 ; 175, 7 ; 183, 12 ; 185, 1, 2, 3 ; ... ; (Q) 573, 20 ; 575, 1, 3, 5, 8 ; 579, 16, 18, 20 ; 585, 9 ; 595, 12 ; ...

قدّر تقديرًا procéder par tâtonnements 211, 13
مقتدر convenable (S) 675, 12 ; 677, 21

قدّم poser 171, 15 ; 173, 15 ; avancer 211, 14 ; 213, 13 ; 215, 8 ; introduire 255, 4 ; 263, 8 ; 267, 17 ; 269, 11, 18 ; ... ; 401, 20 ; 407, 14 ; (Q) 575, 24 ; 595, 19 ; incliner (Q) 573, 8 ; précéder (Q) 575, 25 ; (S) 661, 9 ; 671, 3 ; 689, 16 ; 695, 10
الذي (كما) قدمنا précédent 201, 11 ; 223, 11 ; 225, 3, 14 ; 229, 3 ; ... ; 375, 8, 14, 17 ; 383, 12, 14 ; 399, 17
إلى قدام en avant, au devant (S) 671, 13 ; 673, 2
مقدمة ج ات préliminaire 363, 4 ; introduction; lemme ; liminaire; antécédent
أقدم introduire 171, 14
تقدّم être en avance, précéder 317, 8 ; 327, 2, 10 ; 329, 11
تقدّم (فيما تقدم) établir précédemment, précédemment 371, 8 ; (Q) 585, 13 ; 589, 14 ; 599, 9 ; 605, 11 ; 607, 15 ; 613, 12 ; 615, 11 ; 619, 12 ; (S) 657, 20 ; 669, 12 ; 671, 11 ; 673, 14 ; 677, 16 ; avancer (S) 681, 5
متقدم ancien 173, 21 ; précédent 255, 5, 7 ; 317, 21 ; 327, 3 ; (S) 673, 3, 6 ; initial 315, 15 ; en avance 317, 9, 18 ; 327, 9, 16 ; 329, 9, 15 ; (A) 539, 11
قدماء anciens 375, 2

قرّ
قوارير verres (Q) 595, 7

قرب s'approcher, se rapprocher 195, 10 ; 207, 9, 16 ; 209, 6 ; 225, 10, 16, 17 ; 235, 12 ; 239, 6 ; 271, 14 ; ... ; (Q) 575, 7 ; 623, 7 ; 633, 6 ; 639, 20 ; 643, 20 ; (S) 683, 5, 7
يقرب مأخذه atteindre aisément (Q) 577, 2
قرب rapprochement (Q) 577, 9 ; 583, 20, 21 ; 599, 5
من القرب de près (Q) 597, 17, 20, 22 ; 605, 7
قريب proche, près (Q) 587, 12 ; 597, 17 ; 599, 16 ; 627, 23 ; 633, 2, 25
مقاربة voisinage 165, 22
أقرب plus proche 169, 11, 20 ; 171, 3, 8 ; 177, 12, 16 ; 179, 8 ; 181, 6, 9, 16, 24 ; ... ; (A) 539, 5, 11 ; (Q) 587, 14 ; 615, 19 ; 622, 7 ; (S) 663, 4 ; 689, 15 ; 697, 11 ; aussi accessible 363, 11
تقرّب (تقرُّب) s'approcher 237, 13 ; 319, 17
متقرب qui s'approche 317, 21 ; 319, 12, 18
أشدّ تقاربًا beaucoup plus resseré 179, 8 ; 181, 16

قسم partager, diviser 193, 1 ; 217, 1; 363, 18, 20, 21, 25 ; 365, 10, 11 ; 367, 4 ; 369, 17 ; 415, 16 ; 417, 5, 7-9 ; ... ; (Q) 597, 4, 11, 12 ; (S) 677, 8 ; 679, 1, 2, 6 ; 689, 2, 4, 23 ; 699, 11

قِسمٌ ج أقسام partie 193, 2 ; 365, 11, 15 ; 367, 3-5 ; 393, 11 ; (S) 679, 8 ; section (Q) 587, 28

قسمة division 377, 6, 8

قاسم qui partage 179, 7, 11 ; 181, 13, 14, 20, 22 ; 225, 7 ; 263, 14 ; 397, 7 ; 399, 14 ; 407, 1 ; (S) 697, 24

انقسم se partager (Q) 587, 28 ; (S) 677, 10, 12

قصد (قصدٌ) chercher (Q) 575, 2

قصدٌ intention (Q) 595, 14

قصد القول entendre parler (Q) 595, 19

أقصد السبيل la voie la plus directe 173, 21

أقصد المسالك la voie la plus économe 401, 22

قصر ne pas atteindre 271, 16, 20

أقصر plus petit, plus court 175, 8 ; 205, 14, 15 ; 207, 12, 14 ; 211, 2 ; 225, 3 ; 231, 9 ; 263, 18, 19 ; 269, 6 ; ... ; 381, 9

قطب axe (Q) 595, 23 ; (S) 679, 5

قُطْر ج أقطار diamètre 167, 16 ; 169, 14 ; 213, 11 ; 219, 5 ; 221, 3, 20 ; 223, 4 ; 225, 22, 24 ; 227, 1 ; ... ; 373, 8 ; 375, 6, 10, 11, 12 ; 377, 9 ; 379, 6, 9-11 ; 381, 5-9, 10 ; ... ; 431, 2 ; 433, 1 ; (Q) 623, 6, 7 ; 641, 1 ; (S) 651, 12 ; 653, 8, 11 ; 655, 4, 15 ; 659, 7, 8, 14 ; 663, 10 ; 665, 5, 9 ; ... ; diagonale 291, 5 ; 333, 8, 9, 10, 14 ; 335, 7, 10 ; 371, 7, 13, 14 ; hypoténuse 211, 4, 5 ; 331, 9-11 ; 333, 16 ; 335, 6

نصف قطر demi-diamètre 377, 8 ; 387, 2 ; (Q) 623, 2 ; 627, 3-4, 24 ; 633, 24 ; 639, 15 ; (S) 663, 13 ; 665, 8

قطع couper 167, 7 ; 169, 5, 7 ; 181, 24 ; 219, 13, 16 ; 223, 15 ; 231, 6 ; 259, 11, 18 ; ... ; 371, 14 ; 377, 12 ; 379, 13 ; 381, 6, 8, 9 ; 383, 1 ; 385, 11 ; 391, 22 ; 393, 9 ; 431, 15 ; 433, 1, 2, 4 ; (S) 651, 9 ; 655, 11, 15, 16 ; 657, 2 ; 659, 7, 15, 16 ; 675, 13 ; 677, 9

قِطْعة ج قِطَع portion 167, 3 ; 187, 12 ; 215, 12, 13, 15, 17 ; 225, 4 ; 263, 12, 13, 15, 19, 22 ; ... ; 379, 2 ; 391, 23 ; 431, 5, 6 ; 433, 6, 7, 9, 10, 12 ; (Q) 597, 2, 9, 10 ; 619, 21, 23 ; (S) 651, 9 ; 653, 13 ; 655, 1 ; 657, 2, 4, 5, 7, 9, 11 ; 669, 3, 4 ; ...

قاطعَ couper 179, 12 ; 183, 1, 2 ; 185, 1, 5 ; 187, 11 ; 193, 13, 14 ; 215, 4 ; 299, 16 ; ... ; 369, 16, 23, 24 ; 373, 1 ; 377, 16 ; 385, 13 ; 389, 17 ; 395, 6-8 ; 397, 15 ; ... ; 433, 3 ; (S) 659, 1 ; 661, 1 ; 687, 23

حيث قاطعَ intersection 379, 14 ; 383, 5

قاطعٌ qui coupe 261, 11 ; 275, 6 ; 381, 9 ; 397, 4, 6 ; (A) 539, 4 ; qui sépare 401, 13

قطاع secteur 187, 18-23 ; 189, 5

مقاطع qui coupe 263, 3 ; 323, 5 ; (S) 663, 8

تقاطعَ se couper 191, 2 ; 249, 22 ; 253, 2 ; 255, 13 ; 265, 12 ; 309, 7 ; 313, 12 ; 373, 11 ; 383, 15 ; 431, 8 ; (S) 655, 4 ; 657, 21, 22 ; 663, 11

تقاطُع intersection 181, 23 ; 309, 5 ; (S) 659, 3

متقاطع qui se coupe 213, 15 ; 255, 13, 15 ; 273, 15 ; (S) 657, 18

انقطع (انقطاع) cesser (Q) 579, 28 ; 623, 3-5, 13

منقطع interrompu 173, 14

قعد

قاعدة ج قواعد base 163, 14 ; 165, 14 ; 167, 6, 16 ; 169, 13, 14 ; 173, 3 ; 185, 16 ; 233, 15 ; 235, 4, 6, 7, 19, 20, 22 ; ... ; 365, 7 ; 413, 4, 6 ; (Q) 583, 15, 16 ; 585, 8 ; 593, 15 ; (S) 677, 12, 13 ; 697, 22, 24 ; 699, 4 ; 701, 11 ; pied 209, 13

قعر concavité 213, 11 ; fond 213, 9

تقعير concavité (Q) 575, 3 ; 595, 15, 16, 18 ; 597, 21 ; 599, 12, 13, 15, 16, 18, 24 ; ...

- مخروطي concavité conique (Q) 595, 17

- أسطواني concavité cylindrique (Q) 595, 17

- كري concavité sphérique (Q) 577, 27 ; 579, 5-6, 13-14, 25, 28 ; 595, 16, 20-21 ; 597, 8, 9 ; 599, 10, 12-14 ; ...

مقعر (تقعير) concave 377, 11, 14 ; 379, 4, 7 ; 385, 6 ; 387, 10 ; 389, 11 ; (Q) 577, 27 ; 579, 5, 13, 24, 28 ; 597, 8, 9 ; 599, 10, 12, 13, 20 ; ...

قفو

قافٍ celui qui suit 173, 25

قلّ devenir plus petit (Q) 625, 4

قليل peu (Q) 575, 13 ; 633, 15 ; petit (Q) 599, 17 ; en petit nombre (S) 679, 3

أقلُّ moins nombreux 169, 12 ; 207, 4 ; plus petit 187, 16 ; 219, 3, 7 ; 221, 21 ; 223, 2 ; 225, 10, 19 ; 231, 16, 17 ; 233, 12, 13, 15 ; ... ; 397, 12, 16 ; 399, 6, 7, 10 ; 413, 7 ; (Q) 615, 4 ; inférieur (S) 671, 17

قلب renverser (S) 701, 11

انقلاب (inversé) (Q) 581, 10 ; 631, 14 ; 633, 21, 26, 28 ; inversion (Q) 645, 5

تقلُّب inclinaison 283, 23

مقلوب inversé (Q) 575, 19, 20 ; 581, 7, 11 ; 603, 12 ; 629, 1, 4, 10 ; 631, 13, 17 ; ... ; (S) 701, 19

قوس ج قسي arc 167, 14, 16, 18 ; 169, 5, 7, 9 ; 185, 8-11, 13-16 ; ... ; 377, 14, 17, 21 ; 379, 1, 7 ; 387, 3, 4, 6, 12, 15 ; 389, 6, 7 ; ... ; 431, 2, 9, 13-15 ; 433, 7, 10-13 ; (Q) 597, 3, 5-7, 10 ; 611, 1, 2, 4 ; 613, 5, 16, 20, 21 ; ... ; (S) 651, 9, 10 ; 653, 9, 10 ; 655, 5, 9-11 ; 657, 5, 8, 9-11, 14, 15, 19-21 ; ...

قوسي arqué (S) 671, 11 ; 689, 14
مرآة مقوسة، قوسية (انظر مرآة) miroir arqué

قال affirmer, dire 165, 1 ; 169, 17 ; 171, 3 ; 173, 4, 9, 19 ; 175, 12, 18 ; 179, 15 ; 187, 16 ; ... ; 363, 6, 14 ; 367, 8 ; 381, 1 ; 385, 14 ; 387, 12 ; 389, 4 ; 391, 1 ; 397, 11 ; 399, 1, 19 ; ... ; 425, 1 ; 431, 1, 11 ; (A) 539, 2, 9 ; (Q) 585, 13 ; 589, 19 ; 593, 11 ; 601, 17, 20 ; 605, 11 ; 615, 24 ; 625, 22 ; 629, 11 ; 633, 8 ; (S) 653, 9 ; 655, 7 ; 659, 7 ; 661, 1 ; 663, 21, 24 ; 669, 9 ; 681, 17 ; 683, 3 ; ...
قول ج أقاويل affirmation 165, 4 ; 169, 16 ; 173, 15 ; 255, 7 ; (Q) 605, 18 ; énoncé (Q) 625, 10 ; propos 309, 18, 19 ; 375, 4 ; livres 173, 2 ; 213, 1

قمّة sommet 215, 2

قمر lune (Q) 583, 8 ; 589, 9

قن
القوانين الأولى les lois premières 163, 9

قام élever 249, 18 ; 251, 14 ; abaisser 415, 6
قائم élevé 199, 8 ; 207, 11 ; 239, 24 ; 253, 2 ; perpendiculaire 211, 10 ; 233, 16 ; 259, 17 ; 261, 16 ; 283, 2, 5 ; ... ; 425, 5 ; (S) 701, 11
قائمًا verticalement (Q) 603, 1
قائمة ج قوائم (انظر أيضًا زاوية) angle droit (A) 539, 4
قوّم rectifier 373, 8 ; 375, 7 ; (Q) 597, 7, 10 ; 611, 2 ; 613, 4 ; 615, 25 ; 619, 21 ; 625, 19 ; (S) 659, 10 ; 661, 4
تقويم rectification 163, 3, 7
مقوّم rectifié (S) 685, 3, 4 ; 687, 9 ; 697, 21
أقام (إقامة) élever 185, 10 ; 193, 13 ; 219, 5 ; 267, 9 ; 269, 1, 20 ; 285, 5 ; 287, 16 ; 289, 8 ; 299, 11, 12 ; ... ; 403, 3, 9 ; (S) 687, 1, 12, 14 ; 689, 3, 4 ; 691, 5, 7, 11, 13 ; 693, 1 ; construire 385, 12 ; établir (Q) 575, 22, 23 ; (S) 675, 5
استقامة prolongement 205, 5 ; 213, 14 ; 425, 5, 12, 14 ; 427, 1, 3 ; droite 205, 22 ; 209, 1, 12
مستقيم (انظر أيضًا خطّ) droit 409, 14 ; (S) 671, 10

قوي على (قويٌ) pouvoir 177, 3 ; 259, 15, 17, 19, 20 ; 191, 7 ; 395, 12 ; 401, 6, 15
قوة puissance 397, 5 ; 401, 15
قوي fort (Q) 599, 27 ; 643, 21
قوة حيوانية puissance animale 167, 1
قوة نورية puissance lumineuse 163, 12

قاس comparer (Q) 623, 19
مقاييس فلسفية déductions philosophiques 173, 1

كبر augmentation 301, 4 ; grandeur (Q) 583, 23
كبيرٌ grand (Q) 595, 12 ; 599, 16 ; 633, 20, 26 ; (S) 701, 17
أكبرُ plus grand 205, 12 ; 293, 2, 12 ; 295, 13 ; 369, 7 ; supérieur (S) 685, 1
متزيد كبره de plus en plus grand (Q) 643, 26

كتب écrire (Q) 575, 25
كتاب épître 163, 2 ; 335, 14 ; livre 163, 4, 6, 9, 10 ; 231, 4, 18 ; 249, 8 ; 371, 8 ; 419, 20, 21 ; 425, 2 ; (A) 539, 2 ; (Q) 573, 1 ; 577, 1, 5 ; 639, 5 ; (S) 651, 1 ; 675, 1 ; écrit 165, 18, 19 ; transcription 419, 21

كثر
في الكثرة والقلة en plus ou en moins (Q) 597, 28
كثير nombreux 163, 20 ; 165, 12 ; (S) 679, 3, 9 ; 681, 23 ; multiple 163, 21 ; (Q) 585, 17 ; 587, 20, 21, 23 ; plusieurs (Q) 601, 16
كثيرًا beaucoup 167, 17 ; 185, 15 ; 187, 2, 3 ; 321, 9 ; (Q) 587, 17 ; 595, 17 ; 619, 3 ; (S) 687, 12 ; 697, 17
أكثرُ plus grand, plus nombreux, plus 165, 26 ; 169, 14, 19 ; 171, 8 ; 229, 1, 2, 8 ; 231, 12-14 ; ... ; 397, 12, 16 ; 399, 5, 6, 10 ; 401, 18 ; (Q) 573, 18 ; 575, 9, 11, 13, 15, 18, 19 ; 577, 13 ; 585, 11, 15 ; 609, 6 ; ...
تكثير accroître 363, 15

كثف
كثيف dense 165, 25 ; (S) 681, 8
أكثف plus dense 171, 9 ; (S) 659, 3 ; 663, 7
تكاثف densité (S) 681, 22

كحلي bleu foncé (Q) 581, 5 ; 627, 11, 20

كدر impuretés (Q) 589, 2

كرمة générosité (Q) 573, 11

كرا
كرة sphère 167, 7, 8 ; 169, 1, 2 ; 219, 3, 5, 10, 12, 17 ; 221, 3, 4, 20-22 ; ... ; 377, 12, 15 ; 379, 5, 8 ; 385, 3, 7 ; 387, 13 ; 391, 10, 11, 13, 23 ; ... ; (Q) 597, 2 ; 619, 21, 23 ; 623, 11 ; 625, 20 ; 627, 13, 24 ; 629, 3, 12 ; 631, 19-21 ; ... ; (S) 663, 17 ; 667, 8 ; 689, 18 ; 693, 22, 24
- كُريّ sphérique 377, 11 ; 379, 4, 7 ; 385, 6 ; 387, 10 ; 389, 11, 13 ; 391, 8 ; (Q) 617, 1
(انظر أيضًا بسيط، سطح، تقبيب، تقعير، مرآة)

كفى
كفاك اللّه Que Dieu te délivre 335, 12
كفاية ce qui est suffisant 401, 20
كافٍ qui suffit 335, 12

كلّي universel (Q) 575, 26

كلم
كلمة avis (Q) 573, 12
كلام propos (Q) 575, 27
تكلّم parler 335, 15

كمل
أكثر كمالاً de plus parfait (Q) 573, 18
كامل parfait (Q) 573, 8

كمية ج ات grandeur 209, 9

كنف
مكتنف qui entoure 407, 16

كوكب ج كواكب astres (Q) 583, 8 ; 589, 9, 10

كان
كون étant donné (Q) 621, 15
مكان lieu 183, 12 ; (S) 681, 14 ; place 283, 13 ; position (Q) 631, 11

لحق rejoindre 319, 12, 17; appartenir (Q) 615, 23 ; rattraper (S) 681, 11, 12, 14, 19 ; 683, 1-3, 6-9
لاحق qui rattrape (S) 683, 10
ألحق (إلحاق) associer (Q) 573, 14

لزم suivre nécessairement 235, 6
لوازم conséquence (A) 539, 8

لشا
تلاشٍ disparition 171, 13

لقي rencontrer 235, 19 ; 325, 20 ; (Q) 607, 4, 16 ; 609, 2 ; 611, 3 ; 613, 7 ; 625, 16, 23 ; 627, 6, 7 ; 629, 14 ; ... ; (S) 697, 23
لاقى rencontrer 163, 12 ; 399, 8 ; (Q) 593, 6 ; 601, 26

ألقى retrancher 383, 7 ; 393, 6 ; 407, 4 ; projetter (Q) 599, 5 ; (S) 681, 10

التقى se rencontrer 219, 10 ; 229, 12 ; 235, 23 ; 325, 20, 21 ; 329, 5, 7, 8 ; 363, 21, 22 ; 369, 18 ; 375, 9 ; 377, 2 ; 385, 2 ; 399, 10 ; 405, 4, 6 ; 407, 11, 12 ; (Q) 607, 4

ملتقى rencontre 239, 2

لمس toucher 163, 18

لون couleur 165, 8 ; 173, 7, 8 ; (Q) 575, 16, 17 ; 581, 4, 5 ; 627, 10, 11, 15, 18-25 ; ...

ماء eau 425, 1, 5-7, 12-14 ; 427, 2-4, 7 ; (Q) 581, 25-27 ; 589, 1, 7, 9 ; 615, 20

حبّ ماء gouttes d'eau (Q) 589, 7

وجه الماء surface de l'eau 425, 5, 6

مثل

مثل ج أمثال égal 185, 12, 13 ; 189, 2 ; 253, 4 ; 257, 8, 9, 15 ; 267, 15 ; 291, 4, 5 ; ... ; 365, 2, 3, 5-7 ; 367, 12, 15 ; 369, 3, 5-7, 9, 21, 23 ; 371, 2, 3, 5, 8, 10, 11 ; ... ; (Q) 607, 10 ; 611, 13 ; (S) 657, 1, 4, 7 ; 677, 5, 8 ; 687, 26 ; 689, 21 ; 691, 5 ; 693, 3 ; ... analogue 165, 22 ; 195, 8 ; 293, 5 ; (S) 689, 14

مثلاً par exemple (S) 701, 6

مثال exemple 167, 9 ; 169, 23 ; 173, 26 ; 175, 9 ; 177, 14 ; 181, 18 ; 185, 3 ; 187, 9 ; 191, 17 ; 197, 5 ; ... ; 363, 24 ; 365, 1 ; 377, 14 ; 379, 7 ; 387, 14 ; 389, 14 ; 403, 1 ; 409, 1, 13 ; 431, 7 ; (Q) 591, 11 ; (S) 651, 9 ; 655, 3 ; 659, 13 ; 665, 7 ; 669, 4 ; 671, 1 ; 677, 8, 15 ; 679, 2, 17, 19 ; ...

- خطوطي exemple géométrique (Q) 583, 25 ; 589, 19 ; 593, 11 ; 605, 18 ; 615, 24 ; 635, 5

على ذلك المثال de cette manière (Q) 629, 7 ; 645, 10 ; (S) 677, 7, 18

مثل (ممثلون) représenter 363, 8, 11

محن

محنة ج محن vérification (Q) 597, 24 ; 599, 20, 21, 26

امتحن vérifier (Q) 579, 1, 3, 5 ; 597, 14, 16, 21 ; 599, 1, 10, 12, 20

مدّ prolonger (Q) 591, 13 ; mener (S) 675, 6, 9, 10 ; 677, 8 ; tendre (S) 679, 22

امتدّ s'étendre 321, 1, 3

ممتدّ étendu 173,7

ممتدّ على استقامة prolongé 249, 1

مدرة roche 215, 3, 4

مرّ
passer 191, 12 ; 213, 14 ; 225, 4 ; 259, 11, 12 ; 267, 3 ; 275, 20 ; 279, 16 ; 379, 4, 9, 15 ; 381, 1, 6, 7 ; 381, 17 ; 383, 10, 11 ; 385, 5, 9, 14 ; ... ; 427, 2 ; (S) 663, 5 ; 681, 9 ; 695, 3

مرة ج مرار
fois 327, 5, 6 ; (A) 539, 6, 12 ; (Q) 631, 23 ; (S) 681, 23

مارٌ بـ
qui passe 225, 6 ; 263, 1 ; 269, 9 ; 385, 8 ; 387, 7, 12 ; 389, 4 ; 393, 4, 11

مارّ على استقامة
(prolonger) (S) 663, 18 ; 667, 9

مسّ
ماسٌّ
toucher 165, 24 ; 173, 17 ; 219, 17 ; 363, 22 ; 365, 8, 14 ; 373, 10 ; (Q) 595, 24, 27 ; 597, 5, 12 ; (S) 659, 11 ; 669, 4, 14 ; être tangent 221, 1 ; 227, 10, 11 ; 229, 9 ; 231, 2, 7, 8 ; ...

مماسٌّ
qui touche 163, 18 ; 407, 17 ; tangent 219, 10, 14, 17 ; 221, 4, 18 ; 223, 13, 17 ; 229, 9, 12 ; 231, 1, 2, 6, 23 ; ...

مماسّة
contact 165, 24 ; 235, 5 ; 237, 13 ; 241, 13 ; 373, 10 ; (Q) 595, 25

مسك
ماسكون
ceux qui tiennent (S) 681, 11, 13

مضى
poursuivre 205, 5 ; traverser 425, 4, 12, 13 ; 427, 1, 3

المضي إلى
(atteindre) 167, 8

الماضيون
qui traversent 427, 4

ملأ
مملوء
rempli 173, 3

مكن
أمكن
être possible, pouvoir 167, 3, 4, 17 ; 169, 3, 4, 6, 9, 10 ; 177, 15 ; 181, 14, 20 ; ... ; 363, 3, 11 ; 375, 10 ; 381, 11, 15 ; 383, 2, 12, 13 ; 403, 2 ; 409, 10 ; (S) 681, 9 ; 695, 12, 14, 15 ; 697, 3, 15 ; 699, 13, 14, 16 ; 701, 8

ممكن
possible 363, 3 ; (S) 679, 1

منع
empêcher 167, 8 ; (Q) 581, 20, 26

مال
مائل إلى
incliné 283, 6, 17 ; 285, 1, 18 ; penchant (Q) 575, 16 ; 581, 4, 5 ; 627, 10, 24 ; 643, 16

ميل
inclinaison 255, 18, 23, 24 ; 257, 2 ; 259, 1

أميل
plus incliné 193, 17 ; 195, 2-5, 13 ; 197, 13-15

أمال
incliner 253, 6, 9 ; 405, 3, 5 ; (Q) 587, 15

نبيذ — vin (Q) 587, 17

نأي
نائي — éloigné 165, 22
تنائي — éloignement 165, 23

نتأ
ناتئة — bosse (Q) 595, 25
نتوء — convexité (Q) 575, 2 ; bosse 605, 15

نجز — achever 419, 21

نحاس — cuivre rouge (Q) 589, 3 ; 595, 8

نحا
ناحية — côté 267, 7 ; 289, 2
انتحى — s'employer à (Q) 573, 11

ندا
نادى — convier (Q) 573, 14

أنزل — supposer (Q) 593, 1 ; 617, 6 ; 637, 5, 12 ; 643, 1, 11

نسب
نسبة ج نسب — rapport 185, 16 ; 187, 1, 2, 8, 16, 17, 19-23 ; 189, 1-7 ; ... ; 361, 8 ; 369, 3, 4, 9, 10 ; 375, 16 ; 377, 4 ; 393, 12, 14 ; 397, 2, 3, 6 ; ... ; (Q) 637, 10, 17, 19 ; (S) 663, 12
على مناسبة — en proportion, par rapport (Q) 601, 9, 23

نشر
أنشر — faire disperser (Q) 615, 20
انتشر انتشاراً كثيراً — se disperser amplement (Q) 623, 18-19
انتشار — dispersion (Q) 615, 23 ; 635, 2, 3
منتشر — dispersé (Q) 609, 5 ; 623, 15

نصبَ — dresser 211, 2, 5 ; 213, 6, 12 ; 215, 3, 6
se fatiguer (S) 679, 8
نصبٌ — peine (Q) 573, 9
منصوب — (dresser) 329, 18
منتصب — dressé (S) 701, 14

نصف ج أنصاف moitié, demi 167, 17 ; 169, 22 ; 171, 1 ; 215, 13, 17, 18 ; 219, 4, 7 ; 221, 3, 14, 20, 21 ; ... ; 363, 17, 20, 21, 25 ; 367, 14 ; 369, 17 ; 371, 15 ; 373, 3, 11, 12 ; ... ; 431, 2, 10, 14 ; (Q) 597, 4, 11 ; 633, 13 ; (S) 653, 10 ; 655, 6, 10 ; 661, 6 ; 663, 9 ; 665, 9 ; 675, 13 ; 677, 2, 9, 11, 12 ; ... ; milieu 191, 2 ; (S) 657, 8 ; 679, 14

نصف دائرة demi-cercle (Q) 597, 4, 10 ; 613, 5 ; 625, 19 ; 631, 20

نصف قطر (انظر قطر) demi-diamètre

نظر (نظرٌ) regarder 173, 26 ; 177, 11 ; 213, 13 ; 219, 3 ; 223, 1 ; 231, 14 ; 233, 14 ; 235, 18 ; 245, 3-5 ; ... ; (Q) 587, 14 ; (S) 697, 1

نظرٌ regard 165, 19 ; 197, 7 ; vue 311, 13 ; (S) 669, 17

نظرٌ حسّي considération sensible (S) 671, 12

خط النظر ligne de vision (S) 699, 2

زاوية النظر angle de vision 277, 18

نظير ج نظائر homologue 257, 10, 14 ; 303, 12 ; 305, 9 ; 371, 3-5 ; 407, 4, 9 ; 415, 18

ناظر pupille 163, 13, 15, 17 ; 165, 14 ; 167, 1, 2, 5, 7-9, 11, 15, 17 ; ... ; 425, 6 ; (Q) 581, 22, 27 ; 587, 2, 4, 5, 8, 10, 12 ; 625, 14 ; 629, 9 ; 631, 8, 18, 20-24 ; ... ; (S) 693, 23 ; 695, 1, 5 ; 697, 1, 6, 9, 13, 23, 26 ; 699, 4

ناظر celui qui regarde 215, 19 ; 225, 24 ; 227, 2 ; 229, 1 ; 231, 16 ; 235, 1, 14 ; (considérer) 363, 3

منظر perspective 255, 10

مناظر optique 163, 4, 7, 9 ; 335, 14 ; (A) 539, 2 ; (S) 651, 1 ; perspectives 425, 2 ; (Q) 573, 1 ; 575, 24 ; 581, 15 ; 639, 3, 25

منظور ce qu'on regarde, visible 163, 15 ; 165, 15 ; 167, 7, 9 ; 171, 12, 13, 16 ; 173, 20 ; 175, 5 ; 189, 12 ; 233, 2 ; ...

نفذ traverser, avancer 401, 17-19 ; (Q) 581, 22, 27 ; (S) 673, 11, 12 ; dépasser (Q) 645, 10 ; pénétrer (Q) 583, 17 ; 627, 16 ; prolonger (Q) 605, 20, 22 ; (Q) se propager (Q) 645, 4 ;

نفوذ traversée (Q) 581, 26

نافذ qui traverse (S) 671, 16

نفس ج أنفس âme 361, 9 ; (Q) 573, 13 ; 575, 22

نفسه lui-même 163, 13 ; 171, 15 ; 173, 16 ; 191, 9, 10 ; 217, 21 ; (Q) 627, 19 ; 631, 21 ; (S) 655, 2 ; 657, 16 ; 701, 9, 10

نفع

نافع utile 163, 5

نقص (نقصان) diminuer 279, 8 ; 293, 15 ; 295, 2 ; 297, 8 ; être inférieur, moindre (Q) 619, 2-3 ; 621, 14

نقص diminution 283, 16, 24 ; 285, 14

يزداد نقصًا diminuer (Q) 623, 28

نُقْصان défaut 259, 3, 4 ; ellipse (S) 679, 24

ناقص ce qui manque 363, 13 ; inférieur (Q) 575, 5 ; 579, 16 ; diminué (Q) 601, 4, 5 ; 603, 22 ; 605, 10 ; ...

لا ناقصًا sans diminution 279, 12 ; 281, 5 ; (Q) 573, 21

لا أنقص pas augmenté 283, 4

نقطة ج نقط point 165, 6, 7, 9, 10 ; 169, 8, 11, 12, 24 ; 173, 3, 5, 9, 12 ; ... ; 361, 8 ; 363, 9, 21, 23, 26 ; 365, 8, 9 ; 367, 5, 8, 10, 11, 13 ; ... ; 431, 2, 4 (Q) 583, 26 ; 587, 27 ; 591, 12, 14, 15 ; 593, 13, 14 ; 595, 25, 27 ; ... ; (S) 651, 7 ; 653, 10, 12 ; 657, 22 ; 663, 23, 24 ; 665, 8 ; 667, 11 ; 669, 10, 11, 14 ; ...

نقل traduire 309, 18 ; déplacer (Q) 583, 27 ; 585, 2, 4, 5

انتقل (انتقال) se déplacer 165, 2, 6, 8, 11 ; 169, 18 ; 275, 12 ; 277, 11, 13, 16 ; 279, 1, 7, 18 ; ... ; (Q) 637, 5, 12 ; (S) 675, 3

انتقال déplacement 165, 3, 4 ; 283, 2

منتقل qui se déplace 279, 11 ; 285, 8

نهي

نهاية extrémité 163, 15, 18, 19 ; 165, 13, 16 ; 167, 10-12 ; 169, 9 ; 173, 4, 11, 17, 19 ; ... ; 369, 15 ; 373, 3, 7 ; 379, 10 ; 391, 7 ; 393, 13 ; 397, 8 ; 399, 14 ; 401, 14 ; 425, 8 ; 431, 3 ; (Q) 591, 14 ; (S) 653, 4, 5, 11 ; 681, 5, 9, 20, 21 ; 683, 3, 8, 10 ; 687, 7 ; ...

بلا نهاية infini 171, 16, 17 ; 173, 1 ; 375, 13

تناهى parvenir (S) 681, 7

انتهى aboutir 175, 14 ; 185, 8-11 ; 187, 13 ; 193, 13 ; 205, 23 ; 221, 14-16 ; ... ; 369, 1 ; 393, 9 ; (A) 539, 6 ; (Q) 627, 14 ; 639, 15 ; (S) 677, 10 ; 689, 24 ; 691, 11, 12 ; parvenir 375, 2-3

منتهى extrémité 173, 2 ; (S) 681, 17

منتهي aboutissant 269, 10 ; 399, 14 ; qui aboutit (Q) 593, 13

نار feu (Q) 583, 4

نور luminosité 171, 9 ; intensité lumineuse (Q) 599, 7 ; lumière (Q) 599, 26

نوري lumineux 163, 12

تنورية four (S) 679, 5, 25

استنارة luminosité (Q) 597, 26, 27 ; 599, 6

نوع ج أنواع espèce (Q) 577, 15 ; 583, 9 ; 587, 25 ; 595, 10 ; (S) 683, 11

نية (وضمير) intention (Q) 577, 3

هبط descendre, s'abaisser 205, 3, 7 ; 207, 2
هابط qui descend 205, 4
هبوط profondeur (Q) 587, 28
أهبط plus bas 195, 9, 14 ; 205, 10, 17 ; 247, 5, 6 ; 329, 21, 22 ; 331, 4 ; 333, 3

هدى
هادٍ qui guide 163, 5

هذب
تهذيب (édifier) 361, 9

هم
مهمات الأمور préoccupations de l'esprit 335, 12

هندسة geométrie 363, 6
هندسي géométrique 363, 12
علم هندسي science géométrique (Q) 573, 16, 17
صناعة هندسية géométrie (S) 667, 5
من أهل الصناعة الهندسية géomètre (S) 667, 3

هيأ préparer 167, 1 ; (S) 675, 11
هيئة forme, figure 173, 2, 3 ; 283, 12, 23 ; 395, 5 ; (Q) 593, 14
تهيأ advenir (Q) 585, 20
ذلك لا يتهيأ ceci ne peut se faire (Q) 575, 24
تهيئة préparation, confection 363, 4, 5 ; (S) 679, 8, 10

هواء air (Q) 581, 23 ; 583, 12

هوى passion (Q) 573, 8

وتر ج أوتار côté 177, 4 ; corde 215, 13, 15 ; 221, 3 ; 263, 12-14, 16, 17, 19, 20, 22 ; … ; 377, 21 ; 379, 1 ; 389, 7 ; 391, 4 ; 393, 16 ; 395, 10 ; 401, 3, 5 ; 433, 7, 10 ; (S) 657, 1, 5, 8, 12 ; 685, 11 ; 699, 15
وتّر intercepter, sous-tendre 177, 4, 5 ; 191, 6 ; 251, 4, 10 ; 259, 15, 16, 19, 21, 25 ; … 377, 17 ; 379, 2 ; 393, 21 ; 391, 13 ; 401, 14 ; 431, 2 ; (S) 653, 11
موتر intercepté 221, 9 ; 395, 15
خط موتر corde 397, 4

وجب s'ensuivre 173, 14 ; falloir 363, 2, 6 ; devoir (Q) 607, 18
أوجب exiger 171, 16 ; imposer 363, 7 ; nécessiter (Q) 587, 17
واجب nécessaire 309, 7 ; devoir (Q) 573, 5, 13

وجد (وجود) trouver 211, 9 ; 213, 5 ; 215, 1 ; 309, 18 ; 311, 1 ; 313, 9, 13 ; 375, 16 ; (Q) 573, 17 ; 575, 26 ; exister 293, 14 ; 299, 5, 7 ; 301, 8, 9 ; 303, 17 ; 307, 9 ; (Q) 623, 23;
وجدان repérage (Q) 577, 1
موجود qui existe 171, 17

وجه ج وجوه manière 373, 5 ; 375, 17 ; (S) 659, 6 ; face 373, 8 ; (Q) 575, 2-5, 7 ; 579, 1, 2 ; 597, 14, 18, 19, 27 ; ... ; (S) 665, 7 ; surface (Q) 595, 24 ; 597, 5 ; (S) 659, 10, 11
visage (Q) 575, 8-11, 13-15, 18, 19 ; 577, 17 ; (S) 651, 4 ; 701, 19
جهة côté, direction 167, 6 ; 177, 15 ; 179, 11 ; 181, 19 ; 193, 17 ; 195, 2, 3, 6, 13 ; 197, 13-15 ; 397, 9, 10 ; 399, 11 ; 407, 15 ; 409, 2 ;419, 16 ; 427, 1, 3 ; 433, 11 ; (Q) 591, 13 ; 605, 24, 25 ; (S) 657, 9, 20-22 ; 659, 1, 2, 8, 11, 15 ; 661, 13, 15, 16, 20 ; ... ; égard 363, 2 ; aspect 363, 12 ; manière (Q) 577, 14, 17, 19, 23 ; 585, 11, 17, 24 ; 589, 7, 12 ; ...
متوجّه qui se meut (A) 539, 6

واحد seul, unique 363, 9, 21 ; 375, 10, 14 ; 379, 5 ; (Q) 585, 14, 20 ; 587, 5, 6, 9, 11, 14, 16, 21 ; ... ; même 363, 20 ; 365, 1, 15 ; (S) 653, 12 ; 657, 2 ; 659, 9, 14 ; 661, 2 ; 677, 18 ; 683, 12 ; 689, 20
وحده seul 379, 6

ودى
وادٍ vallée 213, 5 ; 215, 1, 2, 4, 5

وزي
وازى être parallèle 431, 16 ; atteindre (S) 681, 12
موازٍ لـ parallèle 175, 13 ; 181, 13, 15, 21 ; 197, 2, 8, 9 ; 201, 6, 12 ; ... ; 365, 1 ; 367, 10 ; 369, 15 ; 379, 11 ; 381, 5 ; 383, 3 ; 385, 11 ; 387, 2 ; 389, 6 ; 391, 3 ; ... ; (Q) 607, 4 ; (S) 651, 17, 18 ; 655, 14 ; 661, 16, 18 ; 663, 5, 6, 7 ; 685, 11 ; 687, 10, 12 ; ...
على موازاة parallèlement (S) 683, 1
توازى être parallèle (S) 699, 2
متوازٍ parallèle 177, 11, 13 ; 179, 6, 13 ; 181, 12, 15, 18, 19, 21, 22 ; ... ; 365, 1 ; 369, 20, 22 ; 371, 5, 12 ; 373, 1, 2 ; 379, 12 ; 383, 3 ; 391, 17 ; ... ; 431, 16 ; (A) 539, 3 ; (Q) 619, 25 ; (S) 655, 12 ; 661, 9 ; 663, 2 ; 687, 24
متوازي الأضلاع قائم الزوايا parallélogramme droit 229, 15-231, 1

وسط ج أوساط milieu, centre 189, 12, 13 ; 363, 10 ; (Q) 595, 23 ; 639, 6 ; (S) 659, 4 ; 671, 16 ; 677, 1

أوسط celui du milieu 329, 19, 20 ; 331, 2, 5 ; 405, 6 ; 407, 15, 18, 20 ; 409, 2 ; 415, 5, 7-9

وسع

سعة largeur (S) 671, 17

واسع large (Q) 633, 2

أوسع plus largement 261, 18 ; plus grand 389, 12, 13, 16

اتسع s'élargir 163, 13 ; 261, 13 ; 283, 13 ; 285, 4 ; (Q) 615, 21 ; 623, 18, 21 ; 633, 3, 4

اتساع largeur (Q) 625, 4 ; élargissement (Q) 635, 2

يزداد اتساعًا devenir plus large (Q) 623, 23

متسعًا en s'élargissant (Q) 609, 1

وسم

موسوم appelé 163, 4 ; nommé 163, 7

وصف (وصفٌ) décrire 375, 8 ; (Q) 625, 17 ; 629, 9 ; (S) 667, 3 ; 671, 13 ; 677, 9, 11, 15 ; 679, 1, 2, 21, 23, 25 ; ...

وصلَ joindre 367, 7 ; 369, 24 ; 385, 12 ; 389, 17 ; 391, 8 ; 399, 17 ; 407, 16, 17, 19 ; 409, 2 ; ... ; (Q) 629, 13, 17 ; (S) 675, 12 ; parvenir, aller 215, 1, 2

واصل qui joint 229, 14 ; 231, 20 ; 287, 23 ; 289, 1 ; 325, 2

اتّصل (اتصال) se rejoindre 325, 22 ; 329, 12

اتصال continuité 375, 13

متصل continu 173, 12, 14, 15 ; 375, 13 ; joint 403, 4 ; qui se rejoint 175, 5 ; 329, 13 ; contigu 301, 9, 12 ; 309, 18 ; (S) 677, 16 ; adjacent (S) 677, 22 ; 679, 1

متصل ... على استقامة prolongé 399, 2

وضح

واضح clair (Q) 609, 8 ; 615, 24

أوضح plus clair 363, 11, 12 ; 375, 4

أوضح (إيضاح) expliquer 401, 22 ; 413, 14 ; 401, 22

اتضح expliquer 263, 8 ; être clair 333, 4 ; 371, 11

تقدم إيضاح mettre précédemment en évidence 369, 19

وضع poser, placer 181, 12 ; 211, 11-13 ; 213, 6 ; 243, 19 ; 245, 4, 11, 12 ; 311, 7, 9 ; ... ; (Q) 597, 11 ; 619, 5 ; 625, 14 ; (S) 679, 9, 11 ; prendre (S) 651, 9 ; 681, 15 ; mettre (S) 659, 10 ; 681, 9 ;

composer (S) 675, 5
وضع ج أوضاع cas 273, 3 ; position 275, 14 ; (Q) 587, 5, 9, 18, 28 ; 595, 13 ; 619, 27 ; 625, 15 ; 629, 9 ; 631, 18 ; 633, 2, 6 ; ... ; (S) 681, 13
واضع en posant 363, 4
موضع ج مواضع position, lieu, endroit 165, 21, 25 ; 167, 2, 3, 5 ; 169, 9, 14 ; 173, 2, 27 ; 175, 1 ; ... 363, 13 ; 373, 12 ; 403, 3 ; 425, 6, 11 ; (Q) 575, 13 ; 587, 11 ; 619, 27 ; 631, 8, 13, 26 ; (S) 653, 8 ; 655, 12 ; 659, 3, 4 ; 663, 7, 16, 24 ; 667, 14 ; 669, 7 ; portion (S) 671, 16
موضوع situé 183, 12 ; posé 281, 11 ; (S) 677, 3, 15 ; 681, 15
موضوعات sujets 401, 20

وطئ suivre 173, 22
توطئة propédeutique (Q) 575, 24

وعد promettre 401, 21

وفق
وفقك اللّه que Dieu t'assiste 163, 6
توفيق assistance (Q) 577, 2
بتوفيق ذي القدرة à l'aide du Puissant 401, 22
وافق s'accorder 173, 20
موافق (convenir) 163, 8 ; qui correspond 279, 2
أي ... اتّفق quelconque 245, 4 ; (Q) 591, 9

وافٍ parvenu à la perfection 173, 23

وقت moment 413, 12 ; (Q) 587, 10

وقع (وقوع) tomber 163, 15 ; 165, 18, 19, 20, 21, 25 ; 169, 8, 11-14, 16, 17 ; ... ; 363, 25 ; 389, 4 ; 399, 7 ; 401, 9 ; 411, 7 ; 413, 10-12 ; 425, 13-16 ; 431, 6 ; (Q) 581, 17-20, 24, 27 ; 583, 6, 15, 16 ; 589, 14, 18 ; ... ; (S) 651, 18 ; 655, 1 ; 661, 10 ; 663, 25 ; 673, 4, 10, 12 ; 677, 4, 19 ; 687, 17 ; ... ; se trouver 411, 10 ; recevoir 363, 17
كيفما وقع quelconque 367, 2-3 ; 379, 15
واقع qui tombe 167, 11 ; 171, 5-9 ; 227, 5, 12 ; 369, 14 ; 379, 5 ; 425, 12 ; mené 377, 11, 14 ; 399, 13 ; (Q) 581, 18 ; 585, 16 ; 623, 24 ; (S) 661, 7, 17 ; 663, 8 ; 669, 11 ; 681, 20 ; 697, 23 ; 699, 2 ; 701, 16 ; qui rencontre 395, 14 ; qui coupe 411, 8 ; placé 197, 11 ; 199, 12 ; qui se trouve 253, 6, 9
واقع على زاوية قائمة perpendiculaire 383, 4

وقف établir (Q) 597, 16

واقف	en repos 319, 10, 13-15, 17
وقى	protéger 335, 12
وكل عليه توكلي	c'est à Lui que je me remets (Q) 577, 4
ولي	être du côté de 165, 16 ; 213, 7 ; 223, 12 ; 231, 3, 6 ; (Q) 583, 15, 19 ; (S) 663, 5 ; succéder 201, 9 ; 315, 4, 5 ; suivre 263, 18 ; joindre 405, 6
ولي العدل	qui règne sur la justice (Q) 645, 13
واهب العقل	qui dispense la raison (Q) 645, 13-14
وهمَ توهّم	imaginer 375, 5 ; 411, 14 ; (Q) 585, 3 ; 589, 20, 21 ; 593, 13 ; 605, 18, 22, 24, 25 ; 609, 9 ; 611, 1 ; ... ; (S) 677, 2, 21 ; 679, 4, 10
يد ج أيد	main (S) 681, 9
يسر يسير	un petit nombre 363, 4 ; petit (Q) 633, 7, 17 ; 639, 23 ; 643, 22 ; faible (Q) 633, 12
بشيء يسير	légèrement 401, 19
يسرة	à gauche 277, 3, 5
يسار	gauche 275, 14, 17, 19 ; 279, 10 ; (Q) 629, 8 ; 631, 9 ; (S) 697, 18
يسرى	gauche (Q) 629, 6
أيسر	gauche (S) 701, 18
متياسر	vers la gauche 197, 4, 6, 10 ; 199, 2, 3
يمين	droite 167, 2, 5 ; 275, 14, 16; (Q) 629, 8 ; 631, 9 ; (S) 697, 18, 19, 25
يمنى	droite (Q) 629, 5, 7
يمنة	à droite 277, 3, 5
أيمن	droite (S) 701, 18
متيامن	vers la droite 197, 3, 4, 6, 10 ; 199, 1, 4
اليونانيون	les Grecs 375, 2

GLOSSAIRE LATIN-FRANÇAIS DES TERMES TECHNIQUES

Les références vont aux lignes du Prologue (*Prol.*) et des théorèmes (numéros indiqués en italique) du *De causis diversitatum aspectus*.

Aspectus	perspective : *Prol.*, 2, 7, 10 ; *11*, 26 ; *24,* 18 regard : *14,* 8
Aspicere	voir : *7*, 19 ; *8*, 24 ; *9*, 1
Aspiciens	observateur : *11*, 58, 67, 72 ; *19*, 28 pupille : *7*, 15, 16, 17, 19, 21 ; *8*, 5 ; *9*, 33 ; *11*, 2, 62, 67
Claritas	transparence : *8*, 8
Columpnea (figura)	forme cylindrique : *4*, 1
Comprehendere	s'emparer de, saisir, percevoir : *7*, 9 ; *8*, 16, 26 ; *9*, 3, 5, 16 ; *11*, 26, 29, 32, 38…
Comprehensio	saisie, perception : *10*, 3 ; *15*, 50, 52, 53 ; *19*, 4
Conversio	transformation : *8*, 12, 14, 18 ; *9*, 31 ; *11*, 8 ; *12*, 56 réflexion : *16*, 5 ; *17*, 36 ; *18*, 10, 12 ; *19*, 82 ; *21*, 2, 36
Convertere	transformer : *8*, 16, 20 réfléchir : *16*, 10
Converti	se réfléchir : *16*, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 24, 41 ; *17*, 3, 35 ; *18*, 2
Declarare, declaratio	montrer : *7*, 1 ; *12*, 40 ; *14,* 72
Diametrus	diagonale : *12*, 8, 11
Doctrinalis	mathématique (science) : *Prol.*, 4 ; *11*, 5 mathématicien : *11*, 40 savant : *12*, 55
Equidistans, equidistantes lineae	parallèle(s) : *1*, 3, 10 ; *2*, 5, 10 ; *3*, 4, 9 ; *5*, 11, 15 ; *6*, 9 ; *13*, 13
Equidistare	être parallèle : *6*, 6 ; *16*, 23
Gibbositas	convexité : *13*, 21 ; *14*, 44, 47 courbure : *18*, 1, 11, 16, 17 ; *19*, 46
Illuminare	éclairer, éclairement : *Prol.*, 35, 36, 40 ; *1*, 2 ; *2*, 1, 7 ; *3*, 2, 5 ; *4*, 3 ; *8*, 13…
Illuminatio	éclairement : *14*, 66, 67, 68, 70
Impressio	impression : *7*, 20 ; *9*, 28, 32 ; *11*, 6, 9, 10, 50, 51, 101, 109…
Imprimere	imprimer, impressionner : *7*, 8, 9, 10, 14 ; *9*, 4 ; *11*, 10, 47, 48, 85, 101…
Insigillatus	imprimé : *19*, 79
Instrumentum	organe : *10*, 5, 9, 10, 13 ; *11*, 42, 43, 44, 47, 49, 58 ; *15*, 17
Inundans	diffus : *11*, 55, 56
Inundare	se propager : *19*, 31
Lumen	lumière : *1*, 8 ; *3*, 6 ; *4*, 9 ; *5*, 7 ; *6*, 8, 15, 16 ; *7*, 10 ; *9*, 13 ; *11*, 7…
Lumina	lumières : *Prol.*, 30
Luminosus	lumineux : *Prol.*, 31, 34 ; *1*, 7 ; *4*, 10, 12 ; *8*, 11 ; *11*, 7 ; *16*, 7, 11, 36…

Medium centre : *4*, 4
moitié : *4*, 4, 6, 14, 16, 19, 20
Meguar axe : *9*, 30 ; *11*, 119 ; *17*, 22, 29 ; *19*, 101
Nota point : *3*, 12, 13 ; *5*, 8, 10 ; *6*, 17, 18, 19, 20 ; *12*, 12, 13…

Pinea cône : *13*, 31
Pinealis conique : *2*, 20 ; *11*, 44
Pinealis (figura) cône : 2, 5 ; 9, 32 ; *11*, 84, 103, 108, 109, 119, 121, 122 ; *12*, 2, 6…
Punctum point : *11*, 24, 31, 32, 33, 37, 38, 40, 57 ; *18*, 3

Radius rayon : *Prol.*, 31, 33, 39 ; *3*, 18 ; *6*, 12 ; *7*, 1 ; *8*, 1 ; *11*, 1, 6, 12…
Resolutio pouvoir résolvant : *20*, 6, 19
Resolvere résoudre : *20*, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 18, 21

Sensibile (objet) sensible : *7*, 3, 4, 5, 7, 11, 13 ; *8*, 15, 17 ; *9*, 6 ; 10, 2…
Sensus sens : *8*, 2 ; *9*, 17, 18 ; *10*, 11 ; *11*, 15, 16, 108
Sentire sentir : *Prol.*, 33 ; *1*, 10 ; *3*, 8 ; *4*, 13 ; *8*, 19 ; *11*, 32, 35, 36, 100 ; *15*, 24 ; *19*, 37
Sigillare inscrire : *7*, 8, 9, 12, 14 ; *19*, 9, 12, 13, 17, 24
Sigillari s'inscrire, être inscrit : *7*, 6 ; *19*, 38, 44
Sigillatio impression : *19*, 23
Speculum miroir : *17*, 14, 35, 37 ; *19*, 2, 4, 9, 17, 18, 21, 23…

Tersus poli : *16*, 10, 15, 41, 42 ; *17*, 3

Umbra ombre : *Prol.*, 29, 35, 36, 40 ; *1*, 1, 2, 4, 5, 10, 12…

Virtus puissance, faculté : *7*, 7, 9, 19 ; *8*, 16, 20, 22 ; *9*, 4, 27 ; *10*, 2 ; 11, 42…
Visibilia (objets) visibles : *Prol.*, 11 ; *11*, 131, 133, 134 ; *15*, 55, 61
Visibilis organe de la vue : *12*, 56
Visibilis (sensus) sens de la vue : *16*, 2
Visibilis (virtus) puissance visuelle : *11*, 43, 84
Visus vue, vision : *8*, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 27 ; *9*, 1, 4, 7…

Ymago image : *8*, 21

INDEX DES NOMS PROPRES

Abū Rīda : 53 n. 41-42, 158 n. 12
Aḥmad (fils d'al-Muʿtaṣīm) : 156 n. 4
d'Alembert : 71, 78
Allard, A. : 7 n. *
Alonso Alonso, M. : 438 n. 1
d'Alverny, M.-Th. : 531 n. 8, 532 n. 9, 533 n. 11
Anthémius de Tralles : xi, 3, 57, 58, 97, 97 n. 2, 98, 98 n. 4, 99, 99 n. 5, 111, 112, 114, 116, 117, 128, 137, 139, 155, 156, 156 n. 5, 362, 400, 408, 674
Apian, P. : 440 n. 3
ʿArafat, W. : 120 n. 14
Archimède : 97, 99, 126, 127, 362, 440 n. 3, 680, 682
Aristote : 57, 73, 77, 85, 87, 126, 126 n. 21, 127
Avril, F. : 528, 531

Bacon, Roger : 74
Badawī, ʿA. : 126 n. 21
Bagdad : xi, xii, 76, 92, 127, 128, 541, 541 n. 2, 567
Banū Mūsā : 59, 142 n. 33, 440 n. 3, 446 n. 5, 456 n. 17
Beaujouan, G. : 525 n. 2
Benson, R.L. : 531 n. 8
Birkenmajer, A. : 526 n. 4
Björnbo, A. : xii n. 3, 525-529, 532, 533
Bobbio : 116-120, 122, 124
Boèce : 533

Le Caire : 155
Canart, P. : 7 n. *
Clagett, M. : 440 n. 3, 442 n. 4, 446 n. 5, 456 n. 17, 514 n. 48
Constable, G. : 531 n. 8
de Crémone, Gérard : xi, 67, 438-534

Dain, A. : 531, 531 n. 6
Damien : 46, 92, 92 n. 42
Didyme : 116, 568
Dioclès : 98 n. 3, 116-120, 122, 124, 568
Diophante : 541 n. 1
Dtrūms : 98 n. 3, 116-120, 122, 124

Endress, G. : 338 n. 1
Espagne : 532 n. 10
Euclide : 1, 5-9, 25, 34-35, 39, 41-46, 51-54, 56, 58, 59, 64-78, 83-85, 93, 95, 96, 116, 127, 152, 162, 164, 168, 188, 230, 234, 254, 308, 334, 339-342, 345-347, 350, 351, 357, 466 n. 25, 535, 566, 582 n. 6, 650

al-Fārābī : 438 n. 1-2
Federici Vescovini, G. : 74 n. 15
Fūthiṭos : 126

Galien : 57, 59, 73, 85, 531, 533
Gardthausen : 6 n.*
Gavroglu, K. : 71 n. 4
Gonzalez Palencia, A. : 438 n. 1-2
Gousset, M. Th. : 528, 531
Graffin, F. : 142 n. 33, 567 n. 12
Grosseteste, Robert : 74
Gundissalinus : 438 n. 1

Hāshimī, Y. : 157, 157 n. 7
Heiberg, J.L. : 5-10, 13-19, 21-22, 24-31, 34-35, 37, 39-40, 43, 46-50, 52, 97 n. 2, 99 n. 5, 116 n. 13
Héron d'Alexandrie : 81, 81 n. 25
Hippocrate : 57, 59
Hirschberg, J. : 58 n. 61
Hultsch, F. : 27 n. 20,
Huxley, G.L. : 99 n. 5, 116 n. 13

Ibn Abī al-Fatḥ al-Ṣūfī, Muḥammad : 637
Ibn Abī Jarrāda : 8-10, 44, 68
Ibn Abī Uṣaybiʿa : 1, 1 n. 1-2, n. 6, 2, 2 n. 8, 10, n. 12, 67 n. 1, 125 n. 15, 155, 155 n. 3
Ibn Aflaḥ, Jābir : 440 n. 3, 450 n. 8, 452 n. 9, 456 n. 17, 486 n. 35, 496 n. 36
Ibn al-Haytham, al-Ḥasan : 57, 71, 77, 78, 84, 90, 96, 99, 120, 120 n. 14, 121, 122-125, 128, 338
Ibn al-Haytham, Muḥammad : 128, 128 n. 25
Ibn ʿĪsā, Aḥmad : xii, 2, 53, 57-66, 92, 99, 99 n. 6, n. 8, 103, 103 n. 9, 121, 125-131, 133-137, 139, 140, 143, 145-154, 159, 160, 546, 637
Ibn ʿĪsā, ʿAlī : 60 n. 64
Ibn Isḥāq, Ḥunayn : 41, 41 n. 30, 58, 59, 59 n. 64, 73 n. 13, 85, 85 n. 30, 86, 86 n. 32, 338, 339, 567, 567 n. 12
Ibn Khalaf al-Marwarrūdhī : 60 n. 64
Ibn Lūqā, Qusṭā : xii, 5, 42, 43, 67, 73 n. 13, 77, 82, 128, 130, 139-152, 337-339, 541-635
Ibn Qurra, Thābit : 41, 59, 568
Ibn Sahl : 57, 99, 128, 338

Ibn Sarjūn, Khalīl : 41, 41 n. 30
Imru' al-Qays : 568
Irak : xi
Isḥāq : voir Ibn Ḥunayn
Italie : 531

Jean de Séville : 533
Jolivet, J. : xi n. 1, 157 n. 10
Jones, A. : 7 n. 4

al-Kaḥḥāl, Ṣalāḥ al-Dīn : 58, 58 n. 61, 66
Kaḥḥāla : 41 n. 31
Kheirandish, E. : 41 n. 30
al-Kindī : xi, xii, 1-3, 5 *et passim*
Knorr, W.R. : 7 n. 4, 9 n. 6, 52
Krause, M. : 57, 57 n. 54
Kūfa : xi

de Lacy, P. : 73 n. 12
Langermann, Y.T. : 57 n. 53, 648 n. 1
Laudensis, U. : 531
Lejeune, A. : 70 n. 3, 71 n. 7, 73, 73 n. 14, 81 n. 26, 92 n. 41, 526, 528, 529
Lemay, R. : 532 n. 10, 533 n. 11
Lindberg, D. : 78, 78 n. 21, 86, 86 n. 34, 88, 88 n. 40
Lippert, J. : 1 n. 1, 58 n. 61, 67 n. 1, 567 n. 12
Lorch, Ch. : 527

al-Ma'arra : xiii
Mc Vaugh, M. : 533 n. 11
Ma'ānī, A.K. : 568 n. 13
Matton, S. : 74 n. 15
Meyerhof, M. : 58, 58 n. 60, 73 n. 13, 85 n. 30
Michel de l'Hospital : 6
Mittwoch, E. : 58 n. 61
al-Mu'tamid : 567
al-Mu'taṣim : 155, 155-156 n. 4
al-Mutawakkil : 156 n. 4
al-Muwaffaq : 541, 541 n. 2, 567, 569

al-Nadīm : 1, 1, n. 1-2, n. 6, 2, 2 n. 8, n. 10-n. 12, 60 n. 64, , 67 n. 1, 125, n. 15, 155, 155 n. 2, 158, 567, 567 n. 12
Nix, L. : 81
Nwyia, P. : 142 n. 33, 567 n. 12

Olympiodore : 126

Pappus d'Alexandrie: 25, 27-29, 31, 32
Peri, V. : 7 n.*
Pseudo-Aristote : 73, 73 n. 11
Pseudo-Euclide : 3, 73, 116, 137, 152, 337, 566, 567, 604 n. 15, 606 n. 19, 624 n. 35, 628 n. 37
Pseudo-Théon : 77, 78, 87, 95
Ptolémée : 42, 45-46, 51, 52, 72, 73, 75, 78, 81, 126-128 n. 25, 172, 526, 529
Pythagore : 28, 31

al-Qifṭī : 1, 1 n. 1-2, n. 6, 2, 2 n. 8, n. 10, n. 11, 67 n. 1, 125 n. 15, 142 n. 33, 567, 567 n. 12
Qusṭā : voir Ibn Lūqā

Ranaldi, F. : 528
Rashed, M. : 542 n. 3, 586 n. 9
Rashed, R. : xi n. 1, 53 n. 43, 57 n. 55, 58 n. 58, n. 59, 71 n. 4-5, 72 n. 8, 85 n. 29, 98 n. 4, 99 n. 7, 111 n. 10, 114 n. 11, 116 n. 12, 126 n. 18-20, 156 n. 6, 157 n. 10, 541 n. 1
Riḍā, N. : 1 n. 1, 67 n. 1, 155 n. 3

Sabra, A.I. : 58, 58 n. 57, n. 61, 125 n. 16
Samir, Kh. : 142 n. 33, 567 n. 12
Schmidt, W. : 81 n. 25
Schöne, K. : 92 n. 42
Simon, G. : 71 n. 7
Steinschneider, M. : 41 n. 30
Strabon : 126
Stüve, G. : 126 n. 21
Sudhoff, K. : 533 n. 11
Syracuse : 97

Tajaddud, R. : 1 n. 1, 67 n. 1, 155 n. 2, 567 n. 12
Taton, R. : 71 n. 5
Thābit : voir Ibn Qurra
Théon d'Alexandrie : 3, 6, 7, 9, 34, 45-52, 116, 126, 172
Tigre : 541 n. 2, 567
Tolède : 532
al-Ṭūsī, Naṣīr al-Dīn : 8-10, 34, 44, 53-55, 68, 347, 535

'Uṭārid al-Ḥāsib: 57, 57 n. 56, 99

Ver Eecke, P. : 13-19, 21-22, 24-29, 31, 34-35, 39, 40, 43, 78 n. 22, 127 n. 23
Vergèce, Ange : 6-7
Vogel, M. : 6 n.*
Vogl, S. : 525 n. 2

al-Wathīq : 156 n. 4
Wiedemann, E. : 53
Winter, H.J. : 120 n. 14

al-Ya'qūbī : 41
Yāqūt : 41 n. 31

Zakī al-Dīn : 157

INDEX DES CONCEPTS

air : 81, 86-88, 126, 462 n. 23
alchimiste : xi
angle : 32, 39, 71, 80, 112, 114, 125, 140-145, 339-341, 344, 345, 349, 350, 352, 422, 535, 536, 544, 546, 547, 549- 552, 559, 566
– aigu : 353, 354, 356, 357, 557
– curviligne : 117
– dièdre : 102
– droit : 28, 350, 355, 421, 422
– égaux : 26, 27, 114, 422
– du faisceau incident : 552
– du faisceau réfléchi : 552
– d'incidence : 124, 133, 422
– obtus : 27
– plan : 99-100, 130, 131, 421
– de vision : 83, 92
application
– de la géométrie : 71
– des mathématiques : 70
approximation de Gauss : 548, 555
arc : 91, 98, 99, 109, 103, 104, 106, 114, 132, 137, 340, 344-348, 351, 357, 422, 545, 548
– de cercle : 21, 39, 76, 80, 148, 555
– générateur : 122, 124, 131, 133
– de la parabole : 115
arc-en-ciel : 61, 126
astres : 126
astrologie : 2
astronome : xi, 2
axe : 79, 91, 456 n. 17, 545, 548, 558, 562
– du cercle : 103
– du cône : 79, 91, 134
– du cône visuel : 87, 510 n. 46
– du miroir : 98, 103-108, 111-114, 119, 121, 132, 134, 135, 137, 140, 143, 146, 148-150, 551, 554, 563
– de la pyramide : 98, 112
– de symétrie : 101, 112
– tronc de cône : 79
– visuel : 46, 91

bande : 339, 340
bissectrice : 99, 100, 102, 112, 130, 131, 142, 352, 421, 545

calotte sphérique : 93, 108, 109, 124, 138, 347, 348
carré : 122
catoptrique : xii, 1, 3, 6, 57, 78, 97, 115, 139, 142, 152, 338, 541, 542, 567
centre
– du cercle : 21, 345, 347, 421
– de la sphère : 109, 132, 545, 553, 562
– grand cercle de la sphère : 98, 103, 104, 108, 117
– de symétrie : 16
– de la vision : 92
cercle : 86, 99, 100, 101, 105, 108, 109, 115, 120-122, 130, 134, 137, 144, 148, 345-351, 354, 355, 421, 555
– de base : 87-89, 349
– demi-cercle : 76, 90, 344, 349-352, 357
champ visuel : 76, 80-91
chandelle : 89
charnières : 111
concavité
– de l'arc : 342
– du miroir sphérique : 142
concentration
– des rayons : 75, 92, 102, 118, 120
cône : 25, 42, 73, 79, 87, 92, 94, 115, 348, 442 n. 4
– de radiation continue : 52
– de radiations : 92
– de révolution : 72, 338
– visuel : 5, 45, 46, 51, 52, 61, 68-75, 87-94, 96
– visuel continu / discret : 543
construction par points : 98, 114
convergence : 99, 124
corde : 39,100, 102, 117, 135, 150, 344, 345, 351, 421
corps
– éclairé : 79, 454 n. 13
– immergé dans l'eau : 125, 127, 128, 129
– liquides : 543
– polis : 543
– réfléchissants: 154
– solides : 543
– sphérique : 80
– transparents : 454 n. 12-13
couleur : 1, 86-88, 97, 454 n. 12-13
croissance : 32
cylindre : 21, 25, 80, 148, 150, 348, 349, 446 n. 5

densité : 77
– de l'air : 126

déplacement
– de l'œil : 19-20
– des rayons : 38
diagonale : 100, 352
diamètre : 26, 27, 79, 117, 137, 144, 346, 347, 349-351, 353, 355, 563, 566
– apparent : 92, 357, 543
– demi-diamètre : 32, 349
dièdre : 98-100, 130, 421
diplopie
– binoculaire : 543
– monoculaire : 543
direction : 71, 73, 80
– de l'axe : 91
directrice : 98, 114, 115
dispersion : 552, 553
distance : 71, 87, 88, 340, 346, 543, 544, 551, 566
doctrine
– de l'émission : 68, 76, 86, 338, 341, 543
– intromissioniste : 86, 87
– de la lumière : 71
– du rayon et du cône visuels : 90
– de la vision : 71, 85, 95, 96
droite inclinée : 27
eau : 125-126
égalité
– des angles : 81, 93, 103, 117, 131
– d'arcs : 16
embrasement : 103, 104, 118, 123, 137, 138, 142
émission : 73, 76, 85, 87, 96
espace : 75, 347, 351, 356, 462 n. 23
esprit
– psychique (*al-rūḥ al-nafsāniyya*) : 85, 338, 543, 567
– visuel : 338
existence
– d'un angle : 554
– d'un nombre infini : 75
– d'un point d'intersection : 124

faisceau
– cylindrique : 564
– incident : 552, 553
– de rayons visuels : 90, 347
– réfléchi : 551, 552, 553, 563, 564
fente : 79
feu : 74
figure(s)
– cylindrique : 446 n. 5
– géométriques : 544
– plane : 351, 353, 422
– polygonale : 16, 63, 65, 114, 341
– rectangulaires : 16
finitude du corps : 133
focalisation : 154
forme
– de l'objet : 93
– des sensibles: 85, 87
– du visage : 554, 566
foyer : 98, 114, 115

gabarit : 2, 135
génératrice
– de contact : 25, 348
– de la surface conique : 101
géologue : xi
géomètres : xi, 1, 3, 5, 338, 339
géométrie : 70, 71, 77, 78, 542, 543
– de la perception : 84
– plane : 23
– de la vision : 542
globe oculaire : 92, 93
grandeurs immergées : xi, 158

halo : 61, 126
hauteur : 20-21, 422
– d'un arbre : 342
hexagone : 111, 122
– régulier : 351
horizon : 18
hypoténuse : 28, 29

illusion lunaire : 61, 126, 128
image : 77, 94
– optique du visage : 544, 566
– d'un point : 548
– réelle : 563
– virtuelle : 77, 544, 547, 550, 552, 553, 563
incidence : 109, 117, 119, 120, 122, 138
inclinaison : 26
inégalité des grandeurs : 70
infini actuel : 75, 158
infinité : 70
intensité
– de l'éclairage : 92
– des rayons : 91
– du rayon visuel : 87, 88
intromission des formes : 86
intromissionistes : 85
largeur
– d'une vallée : 342
– du visage : 563, 566
lentille : 138
ligne
– brisée : 94, 512 n. 47
– droite : 94
– de la vision : 95
loi de la réflexion : 81, 94, 117, 120, 122, 130, 137, 140, 422

longueur : 21, 342, 352, 548, 550, 551, 553, 555, 558, 560, 566
– d'un arc : 124
– du visage : 566
losange : 100, 352, 421
lumière (*ḍaw'*, *nūr*) : 71, 72, 83, 88, 95, 96, 460 n. 21 (voir aussi propagation)
luminosité : 81
– radiante (*ḍiyā' shu'ā'ī*) : 72, 338

mathématiques : 77, 78, 438 n. 1, 472 n. 29
matière : 75
– des miroirs : 544
médiatrice : 39, 80, 90, 112, 141, 145, 339, 341, 346, 347, 355, 550, 552, 558, 563
météorologie : 2
milieu
– de transparence : 87
– transparent : 78
miroir : 3, 81, 87, 93, 94, 106, 118, 338
– ardent : xi, xii, 1-3, 61, 97, 115, 116, 121,129, 130, 136, 139, 154-156, 421, 567, 568
– ardent conique : 97, 101, 134
– ardent sphérique : 121, 124
– ardent sphérique concave : 151
– concave : xi, 102, 103, 104, 116, 106, 129, 131, 132, 137, 137, 140, 142, 143, 145, 147, 150, 553, 554, 559, 561, 562, 563, 566
– conique : 99-102, 114, 116, 135, 136, 137
– convexe : 129, 143, 144, 145, 146, 150, 545-553, 562, 563
– cylindrique : 149, 544
– cylindrique concave : 146
– dièdre : 130, 133, 136
– ellipsoïdal : 99, 139
– hexagonaux : 98, 111, 112, 116
– parabolique : 114-116, 120
– plan : 76, 93, 130, 137, 140-145, 130, 543, 544, 550, 563, 566
– pyramidal : 116
– sphérique : xii, 77, 93, 103, 108, 116, 136, 149, 543, 544
– sphérique concave : xii, 98, 108, 120-130, 132, 133, 136, 137, 140, 142, 146, 151, 543, 554, 566
– sphérique convexe : xii, 543, 544, 566
modèle tactile : 73
mouvement : 75
– de grandeurs : 535
– du rayon : 81
– local des couleurs : 87
mutawassiṭāt : 68, 153

nature du rayon : 81
normale : 117, 421

objet : 93, 94
– éclairé : 79
– -obstacle : 71
– sphérique : 94
– visible : 76
octogone : 121
œil : 17-21, 25, 35, 38, 39, 42, 44, 68, 71, 75, 81-83, 85-87, 89- 92, 94, 95, 125, 140-143, 145-150, 337-343, 346-348, 350-352, 355, 535, 536, 544, 545, 548, 550-554, 558, 559, 561 n. 10, 562, 563, 566
ombre : 74, 78-80, 95
– cylindrique : 79
optique : xi, 1-3, 5-6, 52, 61, 67, 68, 70, 74, 75, 77, 78, 97, 337-339, 541-543
– géométrique : 84
– physique : 84
organe de la vision : 71, 86, 87, 454 n. 15
orthogonalité des droites et des plans : 28

parabole : 98, 114, 115
parallèles équidistantes : 112
parallélogramme : 352
– isométrique : 352
partie aiguisée (*mustaḥadd*) : 42
perception
– des couleurs : 86
– visuelle : 543
perpendiculaire : 25, 92, 339, 341
perspective : 84, 92, 542
phénomènes d'optique
– atmosphériques : 126
– météorologiques : 97
philosophie : 134
– naturelle : 74
physiologie
– de l'œil : 71
– de la vision : 542
physique : 71, 77, 543
– géométrique spéculative de la lumière : 83
– qualitative : 75, 84
plan
– d'un cercle : 25, 32
– horizontal : 20, 147, 341, 355, 562
– médiateur : 111, 135– du miroir : 144
– parallèle : 18, 149, 356

– perpendiculaire : 79, 115, 131, 544, 545
– de symétrie : 112, 102, 119, 339
– tangent : 80, 89, 348, 349, 421
– vertical : 148
pneuma : 85, 86
point
– de contact : 346, 348
– de convergence : 119, 120, 122, 124
– de focalisation : 131
– de la vision : 75
– -objet : 71, 90
– -origine : 71, 73
– de rencontre : 117, 133
– -source : 92, 95
polygone : 114, 422
– régulier : 98, 112, 116
position
– de l'œil : 17-18, 21, 25, 559-563, 566
– des grandeurs : 18
profondeur : 21
– d'un puits : 342
projection : 32, 117, 119,121
– orthogonale : 350
propagation : 71, 72, 79, 154
– de la lumière : 71, 74, 76, 79, 80, 89, 90, 96
– de la puissance lumineuse : 337, 338
– des rayons lumineux : 74, 77, 95
– des rayons visules : 75
– rectiligne : 81, 91
– rectiligne de la lumière : 76, 78, 79, 80, 88, 90
– rectiligne des rayons lumineux : 78
proportionnelle (quatrième) : 342
propriété(s)
– anaclastiques : 128, 130, 139, 141, 142, 647
– catoptriques : 129, 139, 647
– de deux droites parallèles : 80
– géométrique : 131
– optique : 128, 130, 131
– physiques de la lumière : 77
– physiques de la propagation : 95
puissance (*quwwa*) lumineuse : 73, 75, 81, 83, 84, 93, 337, 338, 452 n. 10
– d'un corps lumineux : 83
– d'éclairage : 77, 78, 82, 84
– d'embrasement : 142
– de l'intensité de la radiation : 90
– du rayon visuel : 87, 88
pupille (*nāẓir*): 43, 73, 75, 85, 86, 87, 89, 90, 92, 93, 151, 338, 346-348, 355, 567, 452 n. 11
pyramide : 112, 114
– régulière : 98, 112
racine (*jidhr*) : 341
radiation : 90-92
– lumineuse : 75
rapports trigonométriques : 106
rayon(s) : 19, 27, 38, 39, 44, 69, 97, 100, 114, 115, 345
– centraux : 92
– extrêmes : 130
– du feu : 154, 543
– incident : 102, 103, 117, 118, 119, 132, 144, 147, 421, 543
– latéraux : 92
– lumineux : 74, 77, 79-84, 95, 129, 454 n. 13
– lumineux incident : 80
– de l'œil (*shu'ā' al-baṣar)* : 75, 339
– du soleil : 71, 72
– réfléchi : 77, 80, 98, 100, 102-105, 108, 109, 111, 113-115, 117-124, 131, 132-135, 137, 141, 144, 146, 147-149, 338, 421, 422, 543-546, 550, 552, 555, 558, 561 n. 10, 562, 564, 565
– solaire : 21,71, 98, 99, 100, 103, 104, 107, 109, 111, 112, 114, 115, 124, 128, 130, 133, 137, 154, 156, 338, 342, 421, 422, 543
– symétriques : 132
– visuel : 5, 21, 35, 38, 61, 68-75, 125, 126, 137, 148, 149, 151, 154, 338, 342, 347, 346, 349, 462 n. 23, 535, 536, 545, 559, 567
– visuel discret : 72
rectangle : 130, 347
rectilinéarité des lignes droites : 81
réflexion : xii, 77, 80, 81, 87, 99, 106, 109, 118, 120, 122, 125, 128, 130, 138, 144, 154, 543, 567 (voir aussi loi)
– de la lumière : 76, 93
– des rayons solaires : 111
– du rayon visuel : 94
réfraction : 126
roue : 350
section conique : 116
segment : 21, 71, 106
sensibles : 85, 86, 454 n. 15
simulacres (*šabḥ*) : 85
soleil : 21, 71, 74, 98, 99, 100, 102, 104, 106, 107, 108
sommet
– du cône : 42, 72, 92, 567
– d'un cône de rayons : 92
– du cône visuel : 92
source
– lumineuse : 77, 79, 82-84
– lumineuse rectiligne : 79
– sphérique : 79, 80
sphère : 79, 92, 93, 98, 103, 104, 108-110, 117, 121-124, 132, 138, 140, 142-

145, 147, 346, 348, 545, 553-555, 559, 562
– demi-sphère : 89, 108, 347
surface
– conique : 134, 135, 421
– conique de révolution : 101
– de l'eau : 125, 127
– latérale : 115, 348
– polie : 543
– réfléchissante : 103, 123, 544
– sphérique : 80, 88, 90
– sphérique convexe : 89
– sphérique de la pupille : 75
symétrie : 32, 93, 142
tangente : 90, 98, 114, 115, 344-346, 349, 546
théorème
– "des trois perpendiculaires" : 28
– de Pythagore : 28, 31
théorie(s)
– géométrique de la perception visuelle : 95
– de la nature : 74
– platoniciennes : 71
transformation : 88
transparence : 454 n. 12
triangle(s) : 21, 28, 102, 114, 131, 342, 346, 353-355, 421, 422, 550, 556, 560
– homothétiques : 79
– isocèle : 99, 110, 130, 134
– rectangle : 21, 29, 341
tronc de cône : 79, 92, 115

vapeur d'eau : 126
visage : 543, 544, 548, 550, 551, 553, 554, 562, 563, 566
visibilité : 89, 90
visibles : 70, 87, 88, 92, 150, 351, 543
vision : 71-73, 75-78, 80, 83-86, 89, 94, 96, 126
– binoculaire : 91
– directe : 70, 94, 543
– indirecte : 87, 93, 94
– par réflexion : 87, 93, 139
– du visage : 543
volume de radiations continues : 72
vue (*baṣar*) : 43, 151

yanbathth : 42, 337-338, 567

zone : 120, 122
– de convergence : 124
– sphérique : 123

INDEX DES CITATIONS

Anonyme
De l'Optique (Min al-Manāẓir) : 54, 55, 535

Archimède
De mensura circuli (trad. de Crémone) : 440 n. 3

Aristote
De anima : 85
Météorologiques : 87 n. 37, 126, 126 n. 21

Banū Mūsā
(*Verba filiorum*) : 440 n. 3, 446 n. 5

Dioclès
Miroirs ardents : 116

Euclide
Catoptrique : 40

Diversité des perspectives : 63

Éléments : 68
X, déf. 3 : 28

Optique : xi; 1, 5-66, 67, 68, 71-76, 83, 85, 95, 162, 168, 168 n. 11, 339-341, 566, 582 n. 6
G_1 :
Déf. 1 à 7 : 68-69
Déf. 1 : 68-70
Déf. 4 : 35
Déf. 5 : 17
Déf. 7 : 35
Prop. 1 : 37, 43
Prop. 2 : 35
Prop. 6 : 38, 339
Prop. 7 : 14-16
Prop. 10 : 36
Prop. 15 : 17, 18
Prop. 16 : 342
Prop. 19 : 40
Prop. 22 : 345
Prop. 23 : 342
Prop. 25 : 347
Prop. 28 : 21, 22
Prop. 28 Autrement : 24
Prop. 34 : 43
Prop. 35 : 26, 28, 29
Prop. 36 : 350
Prop. 37 : 351
G_2 : 47-51, 56, 68-70, 78
Déf. 4 : 35
Déf. 7 : 35
Prop. 1 : 37
Prop. 6 : 39
Prop. 7 : 14-15
Prop. 10 : 36
Prop. 15 : 19
Prop. 19 : 40
Prop. 28 : 24
Prop. 36 : 30-31

A : 69-70, 339, 342
Déf. 4 : 35
Prop. 1 : 37, 43
Prop. 2 : 36
Prop. 6 : 39, 40
Prop. 8 : 14
Prop. 16 ; 18, 19
Prop. 29 : 22, 24
Prop. 38 : 26
Prop. 39 : 30

K : 9-13, 343
T : 9-13, 347
J : 9-13

Galien
Microtegni : 531, 533

Gundissalinus
De scientiis : 438 n. 2

al-Fārābī
Iḥṣā' al-'ulūm : 438 n. 1-2

Héron d'Alexandrie
Catoptrique : 81, 81 n. 25

Ibn Aflaḥ, Jābir
Iṣlāḥ al-Majisṭī : 440 n. 3, 450 n. 8

Ibn al-Haytham, al-Ḥasan
Sur les miroirs ardents sphériques : 120 n. 14

Ibn al-Haytham, Muḥammad
Fī Sharḥ al-Majisṭī : 128 n. 25

Ibn 'Īsā, Aḥmad

al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa (*L'optique et les miroirs ardents*): 57, 99 n. 8, 103 n. 9, 127, 130-139, 143-151, 546, 647-701

Ibn Isḥāq, Ḥunayn
Les dix livres sur l'œil (Kitāb al-'ashar maqālāt fī al-'ayn) : 58, 59 n. 64, 85

Ibn Lūqā
Sur les causes de la diversité des perspectives qui se produit dans les miroirs (Kitāb fī 'ilal mā ya'riḍu fī al-marāyā min ikhtilāf al-manāẓir) : 81, 82, 139-151, 541-645
Miroirs ardents : 142 n. 33

al-Kindī
De aspectibus : xi; xiii, 1, 5-6, 46-53, 67, 72, 74-77, 80, 82, 84, 86-95, 97 n. 1, 133, 153, 337, 339, 438-534

Sur la cause de la couleur azur ... (*Fī 'illa al-lawn al-lāzūrī ...*) : 3

Sur la construction des miroirs ardents (*Fī 'amal al-marāyā al-muḥriqa*) : 2, 128, 130, 133, 137-139, 152, 421

Sur le corps qui porte par sa nature la couleur parmi les quatre éléments... (*Fī al-jirm al-ḥāmil bi-ṭabā'ihi al-lawn min al-'anāṣir al-arba'a ...*) : 3

Sur la diversité des perspectives dans le miroir (*Fī ikhtilāf manāẓir al-mir'ā*) : 1-2, 128, 130, 139, 151-153, 160, 647

L'éclaircissement de la finitude du corps du monde : 158, 339

L'essence de ce qui ne peut pas être infini : 158

Sur les gabarits du miroir (*Fī masāṭir al-mir'ā*) : 2, 128

Le grand art (*Fī al-ṣinā'a al-uẓma*): 1, 339

Sur les grandeurs des figures immergées dans l'eau (*Fī 'aẓām al-ashkāl al-ghā'iṣa fī al-mā'*) : xi, 58, 125, 153, 158-160, 647

Philosophie première : 156 n. 4, 158, 339
Sur la projection des rayons (*Fī maṭraḥ al-shu'ā'*) : 2

Sur les rayons solaires (*Fī al-shu'ā'āt al-shamsiyya*) : 2, 58, 97 n. 2, 98 n. 3, 99-115, 129-139, 153-157

La rectification des erreurs ... (*Fī taqwīm al-khaṭa' ...*) : 1, 5, 15, 38, 44, 45, 49, 51-56, 67, 72, 75, 86, 89, 90, 92, 97 n. 1, 125, 129, 133, 134, 151, 153, 154, 159, 161-358, 647

Sur la sphéricité des éléments et du corps du monde : 159

L'unicité de Dieu et la finitude du corps du monde : 158, 339

Pappus
Collection mathématique :
VI : 25
VI.42 : 29
VI.43 : 28
VI.51 : 27

Pseudo-Archimède
Catoptrique : 126, 127

Pseudo-Aristote
Problèmes : 73, 73 n. 11, 542, 586 n. 9

Pseudo-Euclide
De speculis (*Catoptrique*) : 3, 73, 127, 137, 152, 566, 567, 604 n. 15, 606 n. 19, 624 n. 35, 628 n. 37

Pseudo-Kindī
De radiis stellarum : 74

Ptolémée
L'Almageste : 42, 68
Optique : 46, 52, 78, 92, 128, 526, 528

'Uṭārid
al-Anwār al-mushriqa fī 'amal al-marāyā al-muḥriqa : 57

al-Ya'qūbī
Tārīkh al-Ya'qūbī : 41-42

BIBLIOGRAPHIE

1.1 MANUSCRITS DES TEXTES

Anonyme, *Min al-Manāẓir*
Istanbul, Atif 1712, fol. 37^{v}, noté [A].
Paris, Bibliothèque nationale 2467/2, fol. 56^{v}, noté [B].
Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 40, fol. 56^{v}, noté [C].

Euclide, *Optique* [Version notée A]
Leyde, Or. 133, fol. 81-105.
Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 260, fol. 59^{r}-91^{r}.
Istanbul, Topkapı Saray, Ahmet III 3494, fol. 59^{v}-74^{r}.

Aḥmad ibn ʿĪsā, *al-Manāẓir wa al-marāyā al-muḥriqa*
Istanbul, Laleli 2759, fol. 48^{v}-70^{v}, noté [L].
Istanbul, Süleymaniye, Ragip Paşa 934, fol. 29^{r}-52^{r}, noté [R].
Vatican, Heb. 378, fol. 32^{v}-39^{r}, noté [O].

Al-Kindī
De aspectibus
Bâle, Öffentliche Bibliothek der Universität, F. II. 33, fol. 122^{v}-127^{r}, noté [B].
Cracovie, Bibl. Jagiellonska 569, p. 250-261, noté [K].
Milan, Bibliotheca Ambrosiana, T 100 sup., fol. 1^{r}-18^{v}, noté[A].
Milan, Bibliotheca Ambrosiana, P 21 sup., fol. 135^{r}-162^{r}, noté [M].
Oxford, Bodleian Library, Corpus Christi College 254, fol. 207^{r}-212^{r}, noté [C].
Oxford, Bodleian Library, Ashmole 357, fol. 91^{r}-97^{v}, noté [O].
Oxford, Bodleian Library, Saville 24, fol. 139^{r}-167^{v}, noté [S].
Oxford, Bodleian Library, Digby 168, fol. 129^{r}-130^{v}.
Paris, Bibliothèque nationale, lat. 9335, fol. 75^{r}-82^{r}, noté [P].
Paris, Bibliothèque nationale, lat. 10260, fol. 153^{r}-169^{r}, noté [R].
Rome, Biblioteca Nazionale Centrale 2548, fol. 107^{r}-122^{v}, noté [T].
Séville, Biblioteca Colombina, 7-6-2, fol. 141^{v}-162^{r}, noté [J].
Vatican, Bibliotheca Apostolica, Vat. Lat. 2975, fol. 216^{r}-231^{v}, noté [V].

Fī ʿaẓām al-ashkāl al-ghā'iṣa fī al-mā'
Istanbul, Izmirli Ḥaqqi 1647, fol. 2^{v}-3^{r}.

Kull mir'ā qawsuhā thulth dā'iratihā
Istanbul, Izmirli Ḥaqqi 1647, fol. 3^{r}-4^{r}.

Fī al-shuʿāʿāt al-shamsiyya
Patna, Khuda Bakhsh 2048, fol. 2-36.

Fī taqwīm al-khaṭa' wa al-mushkilāt allatī li-Uqlīdis fī kitābihi al-mawsūm bi-al-manāẓir
Qum, Marʿashī Najafī 7580, 69^{v} à 102^{v}.

Qūsṭā ibn Lūqā, *Kitāb fī ʿilal mā yaʿriḍu fī al-marāya fī ikhtilāf al-manāẓir*
Āstān Quds 5593, fol. 78^{r}-93^{r}.

1.2 AUTRES MANUSCRITS CONSULTÉS POUR L'ANALYSE ET LES COMMENTAIRES

Euclide, *Optique* – Rédaction d'Ibn Abī Jarrāda [noté J].
Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 638, fol. 1^{v}-12^{r}.

Euclide, *Optique* – Rédaction d'al-Ṭūsī [noté T].
Columbia 3616-1, Plimpton or. 306, fol. 65^{v}-72^{v}.
Istanbul, Topkapı Saray, Ahmet III 3457, fol. 115^{r}-126^{v}.
Istanbul, Selim Aga 743, fol. 263^{v}-271^{r}.
Istanbul, Koprülü 931, fol. 75-82.
Istanbul, Aya Sofya 2760, fol. 134^{v}-141^{v}.
Istanbul, Atif 1712/4, fol. 31^{r}-37^{v}.
Le Caire, Dār al-kutub, Riyāḍa 40/6, fol. 80^{v}-88^{r}.
Damas, B.N. 5648/3, fol. 11^{r}-23^{v}.
Meshhed 5428, fol. 51-69.
Paris, B.N. 5974, fol. 73-79.

Ibn al-Haytham, Muḥammad, *Fī Sharḥ al-Majisṭī*
Istanbul, Topkapı Saray, Ahmed III 3329, 124 fol.

Ṣalāḥ al-Dīn al-Kaḥḥāl, *Nūr al-'uyūn fī jāmi' al-funūn*
Paris, B.N. 3008, fol. 15^{v}-23^{v}.

'Uṭārid, *al-Anwār al-mushriqa fī 'amal al-marāyā al-muḥriqa*,
Istanbul, Süleymaniye, Laleli 2759/1, fol. 1^{v}-2^{r}.

2 LIVRES ET ARTICLES

A. Allard, "La tradition du texte grec des *Arithmétiques* de Diophante d'Alexandrie," *Revue d'histoire des textes*, 12-13 (1982-1983): 57-137.

M.-Th. d'Alverny, "Translations and Translators", dans *Renaissance and Renewal in the Twelfth Century*, éd. R.L. Benson et G. Constable (Oxford, 1982), p. 421-462.

M.-Th. d'Alverny et F. Hudry, "Al-Kindī : *De raddis*", *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge*, 49e année (1975), p. 139-260.

Aristote
De anima, éd. W.D. Ross (Oxford, 1988) ; trad. J. Tricot (Paris, 1959).

Météorologiques (Livres III-IV), texte établi et traduit par Pierre Louis, Collection des Universités de France, 2 vol. (Paris, 1982).

Aristote [Ps-], *Problèmes*, Texte établi et traduit par P. Louis, 3 vol. (Paris, 1991, 1993, 1994).

F. Avril et M.-TH. Gousset, *Manuscrits enluminés d'origine italienne*, t. 2, XIIIe siècle (Paris, 1984).

G. Beaujouan
"Fernand Colomb et l'Europe intellectuelle de son temps", *Journal des savants* (1960), p. 145-159.

"Fernand Colomb et le marché du livre scientifique à Lyon en 1535-1536", *Actes du 112e Congrès national des Sociétés savantes (Lyon, 1987)* (Paris, 1988).

A.A. Björnbo, "Über zwei mathematischen Handschriften aus dem vierzehnten Jahrhundert", *Bibliotheca Mathematica*, 3e série, 3 (1902), p. 63-75.
Voir aussi al-Kindī.

P. Canart et V. Peri, *Sussidi bibliografici per i manoscritti greci della Biblioteca Vaticana*, Studi e Testi, 261 (Roma, 1970).

M. Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, vol. I, The Arabo-Latin Tradition (Madison, 1964).

A.C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100-1700* (Oxford, 1953).

A. Dain, *Les manuscrits* (Paris, 1949).

Damianos, *Schrift über Optik*, éd. K. Schöne (Berlin, 1897).

A.S. al-Dimirdāsh, "Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī wa Kitābuhu Taḥrīr al-Manāẓir li-Uqlīdis", *Revue des Manuscrits de la Ligue Arabe du Caire*, vol. 9 (1963), p. 243-290.

Diophante, *Les Arithmétiques*, Texte établi et traduit par R. Rashed, 2 vol. (Paris, 1984).

G. Endress, *Proclus Arabus, Zwanzig Abschnitte aus der* Istitutio Theologica *in arabischer Übersetzung*, Eingeleitet, Herausgegeben und Erklärt von Gerhard Endress, Beiruter Texte und Studien, Band 10 (Beyrouth, 1973).

Euclide
Euclidis Opera Omnia (Leipzig, 1945), vol. VII: *Euclidis optica, opticorum recensio Theonis, catoptrica, cum scholiis antiquis*, edidit I.L. Heiberg.

Euclide. L'optique et la catoptrique. Œuvres traduites pour la première fois du grec en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke (Paris, 1959).

Al-Farabi, *Catalogo de las ciencias*, éd. A. Gonzalez Palencia [Madrid-Granada, 1953].

G. Federici Vescovini, *Studi sulla prospettiva medievale*, Pubblicazioni della Facoltà di Lettere e Filosofia, vol. XVI, fasc. 1 (Torino, 1965).

Galien, *De placitis Hippocratis et Plotinus*, éd. et trad. P. de Lacy, Corpus Graecorum Medicorum VII (Paris, 1978).

J.L. Heiberg
Literargeschichtliche Studien über Euclid (Leipzig, 1882).

"Mathematici Graeci Minores", *Det. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. : Historisk-filologiske Meddelelser* XIII, 3 (Copenhague, 1927).
Voir aussi Euclide

Heron Alexandrinus, *Opera quae supersunt omnia*, vol. II : *Mechanica et catoptrica*, éd. L. Nix et W. Schmidt, Bibliotheca Scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana (Leipzig, 1900 ; reprod. Stuttgart, 1976).

J. Hirschberg, J. Lippert et E. Mittwoch, *Ṣalāḥ ad-Dīn. Licht der Augen, aus arabischen Handschriften übersetzt und erläutert* (Leipzig, 1905); repris dans F. Sezgin (éd.), *Augenheilkunde im Islam. Texte, Studien und Übersetzungen* (Frankfurt am Main, 1986), p. 206-230.

G.L. Huxley, *Anthemius of Tralles : A Study in Later Greek Geometry* (Cambridge, Mass., 1959).

Ibn Aflaḥ, *Gebri filii Affla Hispalensis de astronomia libri IX*, trad. P. Apian (Nuremberg, 1534).

Ibn al-Haytham, *Majmū' al-rasā'il*, Dā'irat al-Ma'ārif al-'Osmānia (Hyderabad, 1357/1938-1939).

Kaḥḥāla, *Mu'jam al-mu'allifīn* (Beyrouth, s.d.).

E. Kheirandish, "The Arabic 'Version'" of Euclidean Optics: Transformations as Linguistic Problems in Transmission", dans *Tradition, Transmission, Transformation*, Proceedings of two conferences on pre-modern science held at the University of Oklahoma, éd. F. Jamil Ragep et Sally R. Ragep (Leiden, 1996), p. 227-245.

Al-Kindī

Alkindi, Tideus und Pseudo-Euklid. Drei optische Werke. Herausgegeben und erklärt von Axel A. Björnbo und Seb. Vogl, Abhandlungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften. Heft XXVI, 3 (Leipzig-Berlin, 1912).

De radiis : voir M.-Th. d'Alverny et F. Hudry.

Rasā'il al-Kindī al-falsafiyya, éd. Abū Rīda, 2 vol. (Le Caire, 1950-1953).

W.R. Knorr, "Pseudo-Euclidean Reflections in Ancient Optics: A Re-Examination of Textual Issues Pertaining to the Euclidean *Optica* and *Catoptrica*", *Physis*, vol. XXXI, fasc. 1 (1994), p. 1-45.

M. Krause "Stambuler Handschriften islamischer Mathematiker", *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Bd. 3 (1936), p. 437-532.

Y.T. Langermann, "Arabic Writings in Hebrew Manuscripts : A Preliminary Relisting", *Arabic Sciences and Philosophy*, 6.1 (1996), p. 137-160.

A. Lejeune

"Codex Vaticanus Latinus 2975", *Bulletin de l'Institut historique belge de Rome*, 24 (1947-1948), p. 123-137.

Euclide et Ptolémée : Deux stades de l'optique géométrique grecque, Recueil de travaux d'histoire et de philologie, 3e série, 31e fascicule (Louvain, 1948).

"Trois manuscrits de l'*Optique* de Ptolémée descendants du *Vaticanus Latinus 2975*", *Scriptorium*, 4 (1950), p. 18-27.

Recherches sur la catoptrique grecque d'après les sources antiques et médiévales (Bruxelles, 1957).

R. Lemay, "Gerard of Cremona", *Dictionary of Scientific Biography*, éd. Ch.C. Gillespie, t. 15 (1978), p. 173-192.

D.C. Lindberg

Theories of vision from al-Kindi to Kepler (Chicago / London, 1976).

"Alkindi's Critique of Euclid's Theory of Vision", *Isis*, 62 (1971), p. 469-489 ; repris dans *Studies in the History of Medieval Optics*, Variorum Reprints (London, 1983), II.

Ch. Lohr, "Aristotelica Hispalensia", *Theologie und Philosophie*, 50 (1975), p. 547-564.

A.K. Ma'ānī, *Fihrist Kutub Khaṭṭī Kutubkhāna Āstān* Quds Raḍayī (1350/1931), vol. VIII.

M. McVaugh, *A Source Book in Medieval Science*, éd. E. Grant (Cambridge Mass., 1974).

S. Matton, *La magie arabe traditionelle*, Introduction et notes bibliographiques Bibliotheca hermetica (Paris, 1976).

M. Meyerhof, *The Book of the Ten Treatises on the Eye Ascribed to Hunain ibn Ishâq (809-877 A.D.)* (Le Caire, 1928).

Pappus d'Alexandrie, *La collection mathématique*, Œuvre traduite pour la première fois du grec en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke, Nouveau tirage, Tome second (Paris, 1982).

Ptolémée
L'Optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile. Édition critique et exégétique par A. Lejeune (Louvain, 1956) ; 2e édition, augmentée d'une traduction française et de compléments (Leiden, 1989).

R. Rashed
"Le *Discours de la Lumière* d'Ibn al-Haytham (Alhazen)", *Revue d'histoire des sciences*, 21 (1968), p. 197-224 ; repris dans *id.*, *Optique et mathématiques*, V.

"Optique géométrique et doctrine optique chez Ibn al-Haytham", *Archive for History of Exact Sciences*, 6.4 (1970), p. 271-298 ; repris dans *id.*, *Optique et mathématiques*, II.

"Lumière et vision : l'application des mathématiques dans l'optique d'Ibn al-Haytham", dans R. Taton (éd), *Roemer et la vitesse de la lumière* (Paris, 1978), p. 19-44 ; repris dans *Optique et mathématiques*, IV.

"Fūthīṭos (?) et al-Kindī sur 'l'illusion lunaire'", dans *ΣΟΦΙΗΣ ΜΑΙΗΤΟΡΕΣ "Chercheurs de sagesse". Hommage à Jean Pépin*, Institut d'Études Augustiniennes (Paris, 1992), p. 534-539.

Optique et mathématiques : Recherches sur l'histoire de la pensée scientifique en arabe, Variorum (Aldershot, 1992).

"Al-Kindī's Commentary on Archimedes' *The Measurement of the Circle*", *Arabic Sciences and Philosophy*, 3.1 (1993), p. 7-53.

Géométrie et dioptrique au Xe siècle. Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham (Paris, 1993).

"Conic Sections and Burning Mirrors: An Example of the Application of Ancient and Classical Mathematics", dans K. Gavroglu *et al.* (éd.), *Physics, Philosophy and the Scientific Community* (Dordrecht, 1995), p. 357-376.

"Geometrical Optics", dans R. Rashed (éd.), *Encyclopedia of the History of Arabic Science* (London, 1996), p. 643-671.

W. Robert, *The Medieval Tradition of Euclid's Optics*, Ph.D., University Microfilms, Inc., Ann Arbor, Michigan (University of Wisconsin, 1972).

G.A. Russell, "The Emergence of Physiological Optics", dans R. Rashed (éd.), *Encyclopedia of the History of Arabic Science* (London, 1996), p. 672-715.

A.I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I-III on Direct Vision. Translated with Introduction and Commentary*, Studies of the Warburg Institute, 2 vol. (London, 1989),.

Kh. Samir, "Une correspondance islamo-chrétienne entre Ibn al-Munaǧǧim, Ḥunayn ibn Isḥāq et Qusṭā ibn Lūqā", Introduction, édition, divisions, notes et index par Khalil Samir ; Introduction, traduction et notes par Paul Nwyia dans F. Graffin, *Patrologia Orientalis*, t. 40, fasc. 4, n° 185 (Turnhout, 1981).

G. Simon, *Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'antiquité* (Paris, 1988).

M. Steinschneider, *Die arabischen Übersetzungen aus dem greiechischen* (Graz, 1960).

K. Sudhoff, "Die kurze 'Vita' und das Verzeichnis der Arbeiten Gerhards von Cremona", *Archiv für Geschichte der Medizin*, 8 (1914), p. 73-82.

H. Takahashi, *The Medieval Latin Traditions of Euclid's* Catoptrica, A Critical Edition of *De speculis* with an Introduction, English Translation and Commentary (Kyushu University Press, 1992).

A. Turyn, *Codices graeci Vaticani saeculis XIII et XIV scripti annorumque notis instructi* (Roma, 1964).

Al-Ṭūsī, Naṣīr al-Dīn, *Kitāb al-Manāẓir* (Hyderabad, 1939/1358).

M. Vogel et V. Gardthausen, *Die griechischen Schreiber des Mittelalters und der Renaissance* (Leipzig, 1909 ; repr. Hildesheim, 1966).

E. Wiedemann, "Aus al-Kindīs Optik", dans *Sitzungsberichten der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlanger*, Bd. 39 (1907), p. 245-248 ; repris dans *Aufsätze zur arabischen Wissenschafts-Geschichte*, Bd. 1 (G. Olms, 1970), p. 396-399.

H.J. Winter et W. 'Arafat, "A Discourse on the Concave Spherical Mirror by Ibn al-Haytham", *Journal of the Royal Asiatic Society of Bengal*, 3e série, Science, 16 (1950), p. 1-6.

Al-Ya'qūbī, *Tārīkh al-Ya'qūbī* (Beyrouth, 1992).

Yāqūt, *Mu'jam al-udabā'* (Beyrouth, s.d.).

ISLAMIC PHILOSOPHY,
THEOLOGY & SCIENCE

Texts & Studies

8 M. Fakhry. *Ethical Theories in Islam.* Second expanded edition 1994. ISBN 90 04 09300 1
9 S. Kemal. *The Poetics of Alfarabi and Avicenna.* 1991. ISBN 90 04 09371 0
10 I. Alon. *Socrates in Medieval Arabic Literature.* 1991. ISBN 90 04 09349 4
11 G. Bos. *Qusṭā ibn Lūqā's Medical Regime for the Pilgrims to Mecca. The Risāla fī tadbīr safar al-ḥajj.* 1992. ISBN 90 04 09541 1
12 E. Kohlberg. *A Medieval Muslim Scholar at Work.* Ibn Ṭāwūs and his Library. 1992. ISBN 90 04 09549 7
13 H. Daiber. *Naturwissenschaft bei den Arabern im 10. Jahrhundert n. Chr.* Briefe des Abū l-Faḍl Ibn al-ʿAmīd (gest. 360/970) an ʿAḍudaddaula. Herausgegeben mit Einleitung, kommentierter Übersetzung und Glossar. 1993. ISBN 90 04 09755 4
14 A. Dhanani. *The Physical Theory of Kalām.* Atoms, Space, and Void in Basrian Muʿtazilī Cosmology. 1994. ISBN 90 04 09831 3
15 Abū Maʿšar. *The Abbreviation of the Introduction to Astrology.* Together with the Medieval Latin Translation of Adelard of Bath. Edited and Translated by Ch. Burnett, K. Yamamoto and M. Yano. 1994. ISBN 90 04 09997 2
16 Sābūr ibn Sahl. *Dispensatorium Parvum (al-Aqrābādhīn al-ṣaghīr).* Analysed, Edited and Annotated by O. Kahl. 1994. ISBN 90 04 10004 0
17 M. Maróth. *Die Araber und die antike Wissenschaftstheorie.* Übersetzung aus dem Ungarischen von Johanna Till & Gábor Kerekes. 1994. ISBN 90 04 10008 3
18 Ibn Abī al-Dunyā. *Morality in the Guise of Dreams.* A Critical Edition of *Kitāb al-Manām*, with Introduction, by Leah Kinberg. 1994. ISBN 90 04 09818 6
19 A. von Kügelgen. *Averroes und die arabische Moderne.* Ansätze zu einer Neubegründung des Rationalismus im Islam. 1994. ISBN 90 04 09955 7
20 J. Lameer. *Al-Fārābī and Aristotelian Syllogistics.* Greek Theory and Islamic Practice. 1994. ISBN 90 04 09884 4
22 C. Adang. *Muslim Writers on Judaism and the Hebrew Bible.* From Ibn Rabban to Ibn Hazm. 1996. ISBN 90 04 10034 2
23 A. S. Dallal. *An Islamic Response to Greek Astronomy. Kitāb Taʿdīl Hayʾat al-Aflāk* of Ṣadr al-Sharīʿa. Edited with Translation and Commentary. 1995. ISBN 90 04 09968 9

24 L. I. Conrad (ed.). *The World of Ibn Ṭufayl.* Interdisciplinary Perspectives on *Ḥayy ibn Yaqẓān.* 1996. ISBN 90 04 10135 7
25 *The Conclusive Argument from God.* Shāh Walī Allāh of Delhi's *Ḥujjat Allāh al-Bāligha.* Translated by M. K. Hermansen. 1996. ISBN 90 04 10298 1
26 B. Abrahamov. *Anthropomorphism and Interpretation of the Qur'ān in the Theology of al-Qāsim ibn Ibrāhīm.* Kitāb al-Mustarshid. 1996. ISBN 90 04 10408 9
27 S. Wild (ed.). *The Qur'an as Text.* 1996. ISBN 90 04 10344 9
29 J. Jolivet & R. Rashed (ed.). *Œuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindī.* 1. R. Rashed. *L'Optique et la catoptrique.* 1996. ISBN 90 04 09781 3

ISSN 0169-8729